



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

**“ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE PROBLEMAS MEDIANTE
DIAGNÓSTICO VIBRACIONAL EN LOS EQUIPOS CRÍTICOS
DE GENERACIÓN DE OLAS ARTIFICIALES DEL PARQUE
ACUÁTICO MORETE PUYU EN LA PROVINCIA DE PASTAZA”**

SANDOVAL QUISHPE FAUSTO RAMIRO

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

RIOBAMBA – ECUADOR

2012

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

Julio, 24 de 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:


FAUSTO RAMIRO SANDOVAL QUISHPE

Titulada:

**“ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE PROBLEMAS MEDIANTE DIAGNÓSTICO
VIBRACIONAL EN LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE GENERACIÓN DE OLAS
ARTIFICIALES DEL PARQUE ACUÁTICO MORETE PUYU EN LA PROVINCIA DE
PASTAZA”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO


Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:


Ing. Manuel Morocho
DIRECTOR DE TESIS


Ing. Jorge Freire
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica


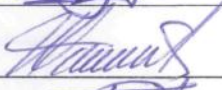
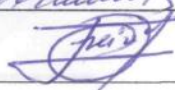
CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: FAUSTO RAMIRO SANDOVAL QUISHPE

TÍTULO DE LA TESIS: “ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE PROBLEMAS MEDIANTE DIAGNÓSTICO VIBRACIONAL EN LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE GENERACIÓN DE OLAS ARTIFICIALES DEL PARQUE ACUÁTICO MORETE PUYU EN LA PROVINCIA DE PASTAZA”

Fecha de Examinación: Julio, 24 de 2012.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. MARCO SANTILLÁN (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)	✓		
ING. MANUEL MOROCHO (DIRECTOR DE TESIS)	✓		
ING. JORGE FREIRE (ASESOR)	✓		

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.



f) Presidente del Tribunal

CERTIFICACIÓN

Ing. MANUEL MOROCHO, Ing. JORGE FREIRE, en su orden Director y Asesor del Tribunal de Tesis de Grado desarrollado por el señor Egresado: **SANDOVAL QUISHPE FAUSTO RAMIRO**.

CERTIFICAN:

Que luego de revisada la Tesis de Grado en su totalidad, se encuentra que cumple con las exigencias académicas de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, carrera INGENIERÍA, por tanto autorizamos su presentación y defensa.



Ing. Manuel Morocho

DIRECTOR DE TESIS




Ing. Jorge Freire

ASESOR DE TESIS

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Sandoval Quishpe Fausto Ramiro', is written over a horizontal line. The signature is stylized with loops and flourishes.

Sandoval Quishpe Fausto Ramiro

DEDICATORIA

Con el más sincero de los sentimientos:

El presente trabajo va dedicado a mis padres, Ramiro y Teresa, de manera especial a mi madre quien se ha convertido en la mayor de mis inspiraciones para lograr todo lo que me he propuesto en mi vida y ser el primero de mis pensamientos al encontrar paz, felicidad y demasiada motivación en aquellos momentos de aflicción.

A mi hermano Luis y a mi primo Cristian, de igual manera agradecerles por la paciencia, comprensión y compañía brindada a través de este largo tiempo.

Y a pesar que físicamente ya no está con nosotros, el trabajo actual también va dirigido a mi hermana Miriam, que desde el cielo envía reflexiones enseñándonos así a entender que los que aún permanecemos es porque tenemos grandes cosas por cumplir.

Fausto Sandoval Quishpe

AGRADECIMIENTO

La mayor expresión de gratitud a Dios por su presencia en todo momento, respuesta y decisión de mi diario vivir. Gracias además por brindarme todo lo que he necesitado y necesitaré para llegar hasta donde aquel lo permita.

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a todos los docentes de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento de la Facultad de Mecánica, en especial al Ing. Manuel Morocho y al Ing. Jorge Freire por haber compartido parte de sus conocimientos y así ayudar a que seamos personas con un criterio técnico - personal muy bien fundamentado.

De la misma manera agradecerle a la Dra. Rocío Rojas, Psicóloga de la ESPOCH por compartir sus sabios consejos en aquellos momentos de tribulación, generando así gran motivación y a la vez inculcando valores en mi vida.

Y en general para todos los amigos, compañeros y personas que en el transcurso de estos años se convirtieron en parte de mi familia apoyándome en cada instante y a la vez ayudando a culminar con éxito uno de los objetivos planteados en mi vida.

Fausto Sandoval Quishpe

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	2
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Criticidad de equipos.....	4
2.1.1 <i>Mantenimiento productivo total</i>	4
2.2 Análisis vibracional en equipos.....	8
2.2.1 <i>Ventajas del análisis de vibraciones</i>	9
2.2.2 <i>Clases de movimientos oscilatorios</i>	9
2.2.3 <i>Movimiento armónico simple</i>	10
2.2.4 <i>Vibración simple</i>	12
2.2.5 <i>Vibración compuesta</i>	15
2.2.6 <i>Frecuencia natural y resonancias</i>	16
2.3 Sentidos de medición.....	16
2.4 Puntos de medición.....	18
2.5 Determinación de las frecuencias de monitoreo.....	18
2.7 Espectros tipo utilizados en el análisis vibracional.....	20
2.7.1 <i>Desbalanceo</i>	20
2.7.1.1 <i>Desbalanceo estático</i>	20
2.7.1.2 <i>Desbalanceo dinámico</i>	20
2.7.2 <i>Desalineación</i>	21
2.7.2.1 <i>Desalineación angular</i>	21
2.7.2.2 <i>Desalineación paralela</i>	21
2.7.2.3 <i>Desalineación entre chumaceras</i>	22

2.7.3	<i>Holgura mecánica eje – agujero.....</i>	22
2.7.4	<i>Soltura estructural.....</i>	23
2.7.6	<i>Rotor o eje pandeado.....</i>	24
2.7.8	<i>Fallas en bandas y poleas.....</i>	24
2.7.8.1	<i>Distensión.....</i>	24
2.7.8.2	<i>Desalineación en poleas.....</i>	25
2.7.8.3	<i>Excentricidad de poleas.....</i>	25
2.7.9	<i>Flujo de líquidos.....</i>	26
2.7.9.1	<i>Frecuencia de aspas.....</i>	26
2.7.11	<i>Fallas en rodamientos.....</i>	26
2.7.11.1	<i>Falla en la pista interna.....</i>	26
2.7.11.2	<i>Falla en la pista externa.....</i>	27
2.7.11.3	<i>Falla en los elementos rodantes.....</i>	27
2.7	<i>Clasificación de transductores.....</i>	28
2.8.1	<i>Transductores de proximidad.....</i>	28
2.8.2	<i>Transductores de velocidad.....</i>	29
2.8.3	<i>Acelerómetros.....</i>	30
2.9	<i>Estándares determinados para el análisis vibracional.....</i>	32
2.9.1	<i>Normas de severidad vibracional.....</i>	32
2.9.1.1	<i>Norma ISO 2372.....</i>	32
2.9.1.2	<i>Norma ISO 10816.....</i>	33
2.9.1.3	<i>Normas DLI.....</i>	34
2.9.2	<i>Niveles aceptables de vibración.....</i>	35
2.10	<i>Reglas para interpretación de los espectros y determinación de problemas.....</i>	36
2.10.1	<i>Tablas de diagnóstico vibracional.....</i>	36
2.10.2	<i>Reglas para el análisis de espectros.....</i>	40
3.	EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS EQUIPOS EXISTENTES EN EL PARQUE ACUÁTICO MORETE PUYU	42
3.1	<i>Estado técnico actual de los equipos.....</i>	42
3.2	<i>Análisis de la situación actual del mantenimiento empleado.....</i>	49

3.2.1	<i>Planificación actual de materiales, repuestos y herramientas para efectuar el mantenimiento.....</i>	49
3.3	Documentación utilizada en la actualidad.....	50
3.3.1	<i>Conclusión de la situación actual del mantenimiento.....</i>	50
4.	ANÁLISIS VIBRACIONAL DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS	51
4.1	Categorización y criticidad de los equipos.....	51
4.1.1	<i>Política de mantenimiento acorde con la categoría de las máquinas.....</i>	55
4.2	Configuración de las rutas de medición.....	55
4.3	Determinación de las frecuencias de monitoreo.....	59
4.4	Elaboración de fichas técnicas de monitoreo.....	60
4.5	Análisis vibracional de los equipos.....	63
4.5.1	<i>Punto VAP11RAT.....</i>	63
4.5.2	<i>Punto VAP12RAT.....</i>	64
4.5.3	<i>Punto VAP21RAT.....</i>	64
4.5.4	<i>Punto VAP22RAT.....</i>	65
4.5.5	<i>Punto C1RAT.....</i>	65
4.5.6	<i>Punto C2RAT.....</i>	66
5.	RESULTADOS E INTERPRETACIÓN	67
5.1	Interpretación de los espectros vibracionales obtenidos.....	67
5.1.2	<i>Espectros obtenidos en el ventilador de alta presión 1.....</i>	67
5.1.2.1	<i>Espectro obtenido en el punto VAP11R.....</i>	67
5.1.2.2	<i>Espectro obtenido en el punto VAP11A.....</i>	68
5.1.2.3	<i>Espectro obtenido en el punto VAP11T.....</i>	69
5.1.2.4	<i>Espectro obtenido en el punto VAP12R.....</i>	70
5.1.2.5	<i>Espectro obtenido en el punto VAP12A.....</i>	71
5.1.2.6	<i>Espectro obtenido en el punto VAP12T.....</i>	72
5.1.3	<i>Espectros obtenidos en el ventilador de alta presión 2.....</i>	73
5.1.3.1	<i>Espectro obtenido en el punto VAP21R.....</i>	73
5.1.3.2	<i>Espectro obtenido en el punto VAP21A.....</i>	74
5.1.3.3	<i>Espectro obtenido en el punto VAP21T.....</i>	75

5.1.3.4	<i>Espectro obtenido en el punto VAP22R.....</i>	76
5.1.3.5	<i>Espectro obtenido en el punto VAP22A.....</i>	77
5.1.3.6	<i>Espectro obtenido en el punto VAP22T.....</i>	78
5.1.4	<i>Espectros obtenidos en el compresor.....</i>	79
5.1.4.1	<i>Espectro obtenido en el punto C1R.....</i>	79
5.1.4.2	<i>Espectro obtenido en el punto C1A</i>	80
5.1.4.3	<i>Espectro obtenido en el punto C1T.....</i>	81
5.1.4.4	<i>Espectro obtenido en el punto C2R.....</i>	82
5.1.4.5	<i>Espectro obtenido en el punto C2A.....</i>	83
5.1.4.6	<i>Espectro obtenido en el punto C2T.....</i>	84
5.2	Creación de reporte de resultados.....	85
5.3	Determinación de problemas existentes.....	85
5.3.1	<i>Problemas y tendencias encontrados en el ventilador de alta presión 1.....</i>	85
5.3.2	<i>Problemas y tendencias encontrados en el ventilador de alta presión 2.....</i>	86
5.3.3	<i>Problemas y tendencias encontrados en el compresor.....</i>	87
5.4	Recomendación de correcciones necesarias.....	87
5.4.1	<i>Recomendación para el ventilador de alta presión 1.....</i>	87
5.4.2	<i>Recomendación para el ventilador de alta presión 2.....</i>	88
5.4.3	<i>Recomendación para el compresor.....</i>	89
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
6.1	Conclusiones.....	90
6.2	Recomendaciones.....	90

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

		Pág.
1	Norma ISO 2372.....	34
2	Norma DLI.....	35
3	Niveles aceptables de vibración.....	36
4	Desbalanceo.....	37
5	Desalineación.....	37
6	Problemas de compresor.....	38
7	Problemas de ventiladores.....	38
8	Holgura mecánica.....	39
9	Problemas de bandas	39
10	Problemas de rodamientos con elementos rodantes.....	40
11	Problemas de turbinas.....	41
12	Criterios para determinar el estado técnico de un equipo.....	43
13	Estado técnico del ventilador de alta presión 1.....	44
14	Estado técnico del ventilador de alta presión 2.....	45
15	Estado técnico del compresor.....	46
16	Estado técnico de la bomba de filtrado.....	47
17	Estado técnico de la bomba de purificación.....	48
18	Categorización de equipos.....	51
19	Criticidad de equipos.....	54
20	Datos y diagrama de ubicación de los puntos de medición del ventilador de alta presión 1.....	60
21	Datos y diagrama de ubicación de los puntos de medición del ventilador de alta presión 2.....	61
22	Datos y diagrama de ubicación de los puntos de medición del compresor	62

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
1	Movimiento regular.....	09
2	Movimiento irregular.....	10
3	Movimiento armónico simple.....	10
4	Desplazamiento, velocidad y aceleración.....	12
5	Sistema vibratorio masa – resorte.....	13
6	Obtención del movimiento armónico simple.....	14
7	Onda sinusoidal.....	14
8	Amplitud.....	15
9	Ángulo de fase	15
10	Vibración compuesta.....	16
11	Frecuencia natural y resonancias.....	17
12	Sentidos de medición	17
13	Desbalanceo estático.....	21
14	Desbalanceo dinámico.....	21
15	Desalineación angular.....	22
16	Desalineación paralela.....	22
17	Desalineación entre chumaceras.....	23
18	Holgura mecánica eje – agujero.....	23
19	Soltura estructural.....	24
20	Rotor o eje pandeado.....	24
21	Distensión.....	25
22	Desalineación en poleas.....	26
23	Excentricidad de poleas.....	26
24	Frecuencia de aspas (Flujo de líquidos).....	27
25	Falla en la pista interna.....	27
26	Falla en la pista externa.....	28
27	Falla en los elementos rodantes.....	28
28	Transductor de proximidad.....	29

29	Transductor de velocidad.....	30
30	Acelerómetro.....	32
31	Norma ISO 10816.....	35
32	Norma DLI.....	36
33	Parque acuático Morete Puyu.....	56
34	Cuarto de máquinas.....	56
35	Ventilador de alta presión 1.....	57
36	Ventilador de alta presión 2.....	57
37	Compresor.....	58
38	Rutas de medición.....	58
39	Punto VAP11RAT.....	63
40	Punto VAP12RAT.....	64
41	Punto VAP21RAT.....	64
42	Punto VAP22RAT.....	65
43	Punto C1RAT.....	65
44	Punto C2RAT.....	66
45	Espectro obtenido en el punto VAP11R.....	67
46	Espectro obtenido en el punto VAP11A.....	68
47	Espectro obtenido en el punto VAP11T.....	69
48	Espectro obtenido en el punto VAP12R.....	70
49	Espectro obtenido en el punto VAP12A.....	71
50	Espectro obtenido en el punto VAP12T.....	72
51	Espectro obtenido en el punto VAP21R.....	73
52	Espectro obtenido en el punto VAP21A.....	74
53	Espectro obtenido en el punto VAP21T.....	75
54	Espectro obtenido en el punto VAP22R.....	76
55	Espectro obtenido en el punto VAP22A.....	77
56	Espectro obtenido en el punto VAP22T.....	78
57	Espectro obtenido en el punto C1R.....	79
58	Espectro obtenido en el punto C1A.....	80

59	Espectro obtenido en el punto C1T.....	81
60	Espectro obtenido en el punto C2R.....	82
61	Espectro obtenido en el punto C2A.....	83
62	Espectro obtenido en el punto C2T.....	84

LISTA DE ABREVIACIONES

TPM	Mantenimiento productivo total
MAS	Movimiento armónico simple
Hz	Hertz
CPM	Ciclos por minuto
FN	Frecuencia natural
FFT	Transformada rápida de Fourier
TDF	Transformada discreta de Fourier
RPM	Revoluciones por minuto
BPF	Frecuencia de paso de aspas
KHz	Kilo Hertz
BPFI	Frecuencia de paso de bola, anillo interior
BPFO	Frecuencia de paso de bola, anillo exterior
BFS	Frecuencia de rotación de bola
FTF	Frecuencia fundamental del tren o jaula
AC	Corriente alterna
ISO 2372	Norma de análisis vibracional que se aplica a máquinas que operan dentro de un rango de entre 10 Hz y 1000 Hz
ISO 10816	Norma internacional de análisis de vibraciones aplicable a máquinas de acuerdo a la potencia del motor
DLI	Norma de análisis de vibraciones que se aplica en equipos rotativos y se basa en la frecuencia de trabajo
Vdb	Decibeles de velocidad
BSF	Frecuencia de rotación de bola
VAP1	Ventilador de alta presión 1
VAP2	Ventilador de alta presión 2
COM	Compresor
BOM1	Bomba 1
BOM2	Bomba 2
HP	Caballos de fuerza (HP)
RAT	Medición en los sentidos radial, axial y tangencial

LISTA DE ANEXOS

- A** Reporte de resultados de medición
- B** Equipo utilizado para el análisis de vibraciones

RESUMEN

El Análisis y Determinación de Problemas Mediante Diagnóstico Vibracional en los Equipos Críticos de Generación de Olas Artificiales del Parque Acuático Morete Puyu en la Provincia de Pastaza se lo realizó luego de reconocer la importancia que tiene dicho establecimiento en el sector turístico de la provincia y la región.

Se realizó el análisis de criticidad de las máquinas existentes para reconocer la importancia productiva que tiene cada equipo, además se efectuaron los estudios para determinar el estado técnico de las instalaciones con el fin de conocer el comportamiento operacional de cada uno de los sistemas que lo componen.

Se ha dado a conocer los principales problemas a los que están expuestos los equipos rotativos en estudio, normas y reglas que se aplican a este tipo de técnicas y mediante una ordenada ruta de medición se llegó a la aplicación del análisis de vibraciones que logró determinar con mayor certeza los problemas existentes en los equipos que fueron monitoreados previo a su respectiva interpretación de espectros.

El presente trabajo también detalla las posibles causas y se recomienda soluciones que se deberán tomar en cuenta para ayudar a minimizar y corregir los problemas encontrados, de esta manera evitar paralizaciones de los equipos y así ayudar a que los mismos ofrezcan mayor disponibilidad de operación.

Este documento será de gran ayuda para efectuar mediciones futuras en los equipos, al mismo tiempo será una guía para que los operadores de dichas máquinas puedan tomar mayor atención y dar seguimiento a los componentes encontrados con algún tipo de defecto.

ABSTRACT

Analysis and determination of problems by means of vibratory diagnosis in critical equipments to generate artificial waves in Morete Puyu aquatic park, in Pastaza province. It was done after knowing the importance of the establishment in the tourist sector in this province and region.

It was developed critical analysis of those machines to recognize its productive importance, besides it was determined the technical condition of the installations to know the operational running of each system.

It was determined main problems which can affect the rotary equipment, rules and laws which can be applied to these techniques, and by means of a measurement route it got the application of vibratory analysis and identify the current problems in those monitored equipments before spectrum interpretation.

This research also shows possible causes and recommends solutions which must be taken into account to reduce and correct problems, to avoid stopping the equipments, and help to offer better operation.

This document will be used as a big help to make future measurements in the equipment, at the same time, it will be a guide for those machine operators who have to give more attention and pursuit for those components with breakdowns.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El parque acuático Morete Puyu fue construido durante los años 2003 y 2004, por la alcaldía del Cantón Pastaza, dicho complejo fue construido con el objetivo de posicionar a la ciudad de Puyo como un destino turístico a nivel nacional e internacional de tal manera que represente el crecimiento turístico y económico de la región amazónica y a la vez atraiga el turismo nacional que comúnmente se enfocaba sólo en los atractivos de la región costera del país. Este proyecto ha sido exitoso y ha beneficiado mucho a la difusión turística de la provincia.

El parque acuático tiene capacidad para 3.000 personas. Sus atractivos principales son la piscina de olas y los toboganes más altos del Ecuador, fuente de diversión de grandes y pequeños. Visitarlo resulta una actividad muy divertida y relajante para los turistas y familias que acuden en gran número durante todos los días del año. Cabe mencionar que este moderno parque acuático cuenta con diversos equipos críticos que requieren de un monitoreo constante que garantice una alta disponibilidad de los mismos.

En el presente trabajo se realizó una determinación de los tipos de fallas normalmente detectables a través de la medición y análisis de vibraciones y se obtuvieron resultados positivos que lograron disminuir considerablemente el tiempo improductivo de las máquinas junto con ello pérdidas productivas.

1.2 Justificación

El mantenimiento predictivo tiene como objetivo el monitoreo de los equipamientos en operaciones, de forma que sea detectado cualquier síntoma de anomalía. La

determinación del estado de los equipos en operación constituye una de las técnicas importantes dentro del mantenimiento predictivo y son utilizadas para la estimación y seguimiento; en consecuencia, las empresas necesitan contar con un confiable análisis de tendencias o cambios de condición de sus equipos, es decir diagnosticar una eventual probabilidad de falla por el monitoreo de parámetros sensibles, en vez de sustituir el componente con tiempo de vida útil.

La prevención de posibles fallas en maquinarias es necesaria para una operación confiable y segura de una instalación. El riesgo de fallas y el tiempo en que una maquinaria queda fuera de servicio pueden disminuirse sólo si los problemas potenciales son anticipados y evitados. Una de las herramientas fundamentales con que se cuenta en la actualidad para el mantenimiento predictivo de una planta o instalación es la medición y análisis de vibraciones.

En definitiva con el presente trabajo se desarrolla una guía técnica para la aplicación de un sistema de mantenimiento predictivo, específicamente el análisis de vibraciones que nos permitirá minimizar al máximo el tiempo improductivo de las máquinas y con ello pérdidas económicas no deseadas y muy perjudiciales para la industria.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Realizar el análisis y determinación de problemas mediante diagnóstico vibracional en los equipos críticos de generación de olas artificiales del parque acuático Morete Puyu en la provincia de Pastaza.

1.3.2 *Objetivos específicos*

Elaborar fichas de datos técnicos y características de los equipos.

Realizar un análisis del estado técnico de los equipos.

Determinar los equipos críticos.

Determinar los puntos de medición.

Efectuar las mediciones de vibración correspondientes.

Interpretar los espectros vibratoriales obtenidos.

Determinar los problemas existentes.

Determinar las correcciones correspondientes.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Criticidad de equipos [1]

2.1.1 Mantenimiento productivo total (TPM). Este tipo de mantenimiento comenzó a efectuarse en Japón a partir de 1980 y es aquel que elimina la separación entre producción y mantenimiento.

El mantenimiento productivo total señala qué política de mantenimiento se debe realizar en los equipos según la categoría que tiene cada uno de ellos.

La categorización de la maquinaria o equipos se determina tomando en consideración 4 aspectos selectivos y 7 parámetros directivos.

Las categorías pueden ser:

- Categoría A
- Categoría B
- Categoría C

ASPECTOS SELECTIVOS

1. INTERCAMBIABILIDAD

CATEGORÍA

CARACTERÍSTICAS

A

Irreemplazable

B	Remplazable
C	Intercambiable

2. IMPORTANCIA PRODUCTIVA

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS
A	Imprescindible
B	Limitante
C	Convencional

3. RÉGIMEN DE OPERACIÓN:

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS
A	Proceso continuo
B	Proceso seriado
C	Proceso alternado

4. NIVEL DE UTILIZACIÓN:

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS
A	Muy utilizada
B	Media utilizada
C	Poco utilizada

PARÁMETROS DIRECTIVOS

1. PARÁMETRO PRINCIPAL DE LA MÁQUINA:

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS
------------------	------------------------

A	Alta
B	Media
C	Baja

2. MANTENIBILIDAD

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS
A	Máquina de alta complejidad
B	Máquina de media complejidad
C	Máquina de simple complejidad

3. CONSERVABILIDAD:

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS
A	Máquina con condiciones especiales
B	Máquina protegida
C	Máquina normal en condiciones severas

4. AUTOMATIZACIÓN:

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS
A	Automática
B	Semiautomática
C	Máquina totalmente mecánica

5. VALOR DE LA MÁQUINA:

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS
A	Alto valor

B	Medio valor
C	Bajo valor

6. FACILIDAD DE APROVISIONAMIENTO

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS
A	Mala
B	Regular
C	Buena

7. SEGURIDAD OPERACIONAL

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS
A	Máquina peligrosa
B	Máquina con peligrosidad media
C	Máquina poco peligrosa

POLÍTICA DE MANTENIMIENTO ACORDE CON LA CATEGORÍA DE LA MÁQUINA

1. PARA LA CATEGORÍA A

Lograr la máxima disponibilidad de la maquinaria o equipos, para lo cual se recomienda realizar lo siguiente:

- Mantenimiento predictivo: Gran utilización de técnicas de ultrasonido, análisis de vibraciones, análisis de aceite, termografía, etc., sin escatimar costos.
- Mantenimiento preventivo: Emplear un sistema de mantenimiento preventivo planificado.
- Mantenimiento correctivo: En el caso de reparaciones imprevistas.

2. PARA LA CATEGORÍA B

Reducir los costos de mantenimiento sin que ello perjudique la disponibilidad de la maquinaria o equipos, para lo cual se recomienda realizar lo siguiente:

- Mantenimiento predictivo: Usarlo solamente en caso de ser necesario.
- Mantenimiento preventivo: Emplear un sistema de mantenimiento preventivo planificado.
- Mantenimiento correctivo: En el caso de reparaciones imprevistas.

3. PARA LA CATEGORÍA C

Determinar los costos de mantenimiento a lo menor posible, para lo cual se recomienda realizar lo siguiente:

- Mantenimiento predictivo: Casi cero.
- Mantenimiento preventivo: Emplear un sistema de mantenimiento preventivo planificado.
- Mantenimiento correctivo: En el caso de reparaciones imprevistas.

2.2 Análisis vibracional en equipos [2]

En términos muy simples una vibración es un movimiento oscilatorio de pequeña amplitud. Todos los cuerpos presentan una señal de vibración en la cual plasman cada una de sus características. De acuerdo a esto, las máquinas presentan su propia señal de vibración y en ella se encuentra la información de cada uno de sus componentes. Por tanto, una señal de vibración capturada de una máquina significa la suma vectorial de la vibración de cada uno de sus componentes.

El hecho más significativo y de interés para evaluar el estado de un equipo sometido a

una o varias actividades que dan lugar a vibraciones, es que procesos mecánicos diferentes de una máquina relacionados con aspectos a controlar, por ejemplo desbalanceo, desalineamiento, o fallos en rodamientos, producen energía a diferentes frecuencias. Si esas frecuencias diferentes son separadas una de otra con el análisis espectral, entonces se puede identificar el fallo y su desarrollo.

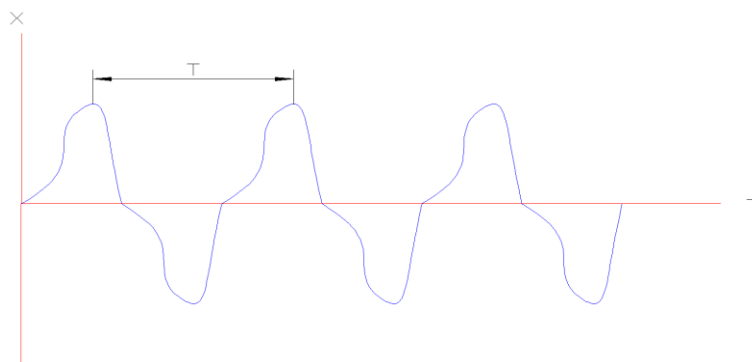
2.2.1 Ventajas del análisis de vibraciones

- Gran reducción en los altos costos de mantenimiento no planificado.
- Altas reducciones en inventario de partes de repuesto al tener un mejor conocimiento del estado de la maquinaria.
- Reparaciones más eficientes, porque los equipos reparados pueden ser cuidadosamente inspeccionados para asegurar la calidad de la producción.
- Mejores condiciones de seguridad, debido a que las máquinas no están condicionadas a trabajar hasta que fallen.

2.2.2 Clases de movimientos oscilatorios [3]. Los movimientos pueden ser :

- **Regulares.** También conocidos como repetitivos o periódicos, de estado estable como por ejemplo el desbalanceo.

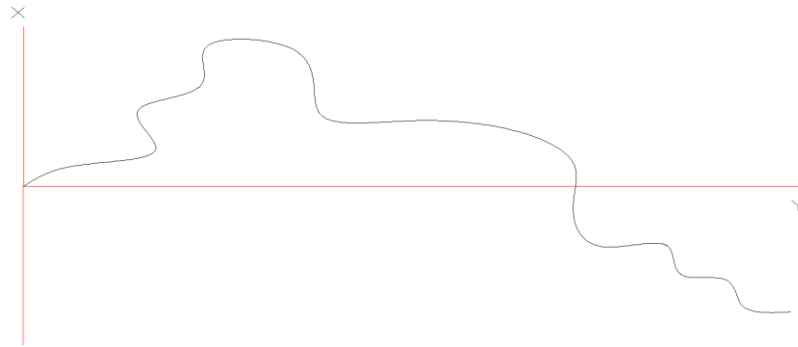
Figura 1. Movimiento regular



Fuente: MOROCHO M. “Análisis vibracional y alineamiento láser”

- **Irregulares.** También conocidos como aleatorios o aperiódicos, como por ejemplo la cavitación, el registro de un sismo.

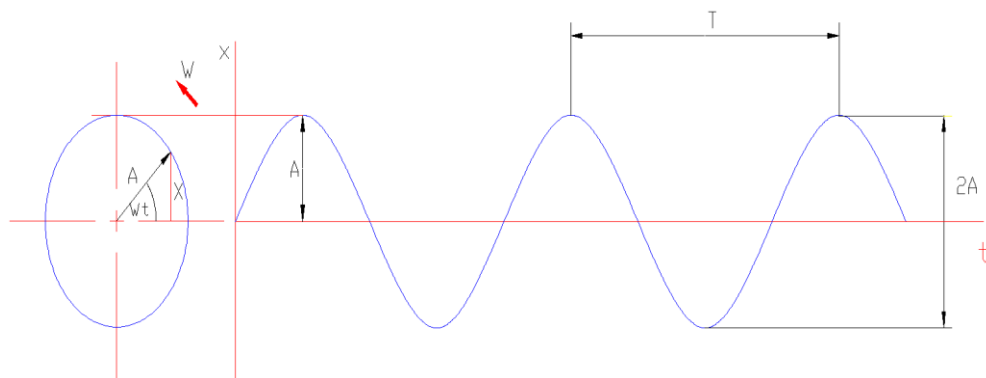
Figura 2. Movimiento irregular



Fuente: MOROCHO M. “Análisis vibracional y alineamiento láser”

2.2.3 Movimiento armónico simple. El movimiento periódico más sencillo es el movimiento armónico simple (MAS) graficado en la figura:

Figura 3. Movimiento armónico simple



Fuente: MOROCHO M. “Análisis vibracional y alineamiento láser”

Donde:

- A = Amplitud de onda de medio pico (μm , mils)
- W = Frecuencia circular o angular de oscilación (Rad/seg)

- T = Periodo de oscilación (seg., min.)

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (1)$$

- f = Frecuencia de oscilación (cpm, Hz)

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{T} \quad (2)$$

Período (T). Es el tiempo requerido para que el sistema efectúe un ciclo completo, es decir cuánto se demora un cuerpo en volver a su posición original con las condiciones iniciales, esta expresado en minutos, segundos, etc.

Frecuencia (f). Es el número de ciclos por unidad de tiempo medido en ciclos por minuto (CPM), ciclos por segundos (Hz).

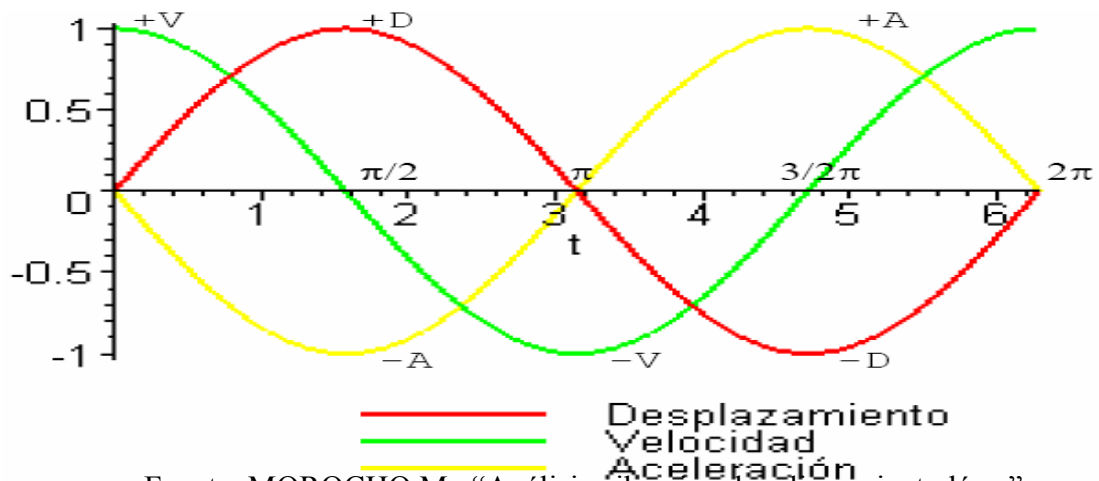
Amplitud. Es el desplazamiento de la onda a partir de la referencia 0 (cero) medida como pico – pico o RMS.

En la función armónica el valor promedio en un ciclo es cero, por eso se utiliza el valor eficaz o valor rms de la onda:

- Valor pico (media onda) = Valor equivalente
- Valor rms = 0.707 Valor equivalente

En un movimiento armónico simple podemos definir, desplazamiento, velocidad y aceleración como se indica en la figura.

Figura 4. Desplazamiento, velocidad y aceleración



Fuente: MOROCHO M. “Análisis vibracional y alineamiento láser”

El desplazamiento (X) se obtiene a partir del círculo trigonométrico en la que se considera un ángulo (Wt) como radio vector, la amplitud (A) y como cateto opuesto (X), aplicando la función seno de esta forma se obtiene la amplitud de la onda.

$$X = A. \text{sen } Wt \quad (3)$$

La velocidad constituye la primera derivada del desplazamiento.

$$V = A.W \cos Wt \quad (4)$$

La aceleración constituye la segunda derivada del desplazamiento o la primera derivada de la velocidad.

$$Ac = -A.W^2. \text{sen } Wt \quad (5)$$

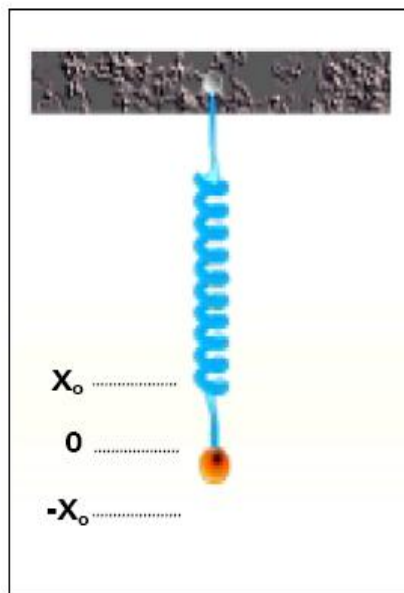
De la figura anterior se observa que cuando la masa se desplaza por el punto 0, la velocidad es máxima. Así mismo cuando el desplazamiento es máximo, la velocidad es

0. Esto ocurre para cualquier frecuencia. La aceleración tiene otra relación cuando el desplazamiento esta en el punto máximo positivo la aceleración esta en el máximo negativo. Cuando el desplazamiento pasa por 0, la aceleración también posee este valor.

2.2.4 Vibración simple. La base principal de las señales de vibración en el dominio del tiempo son las ondas sinusoidales. Estas son las más simples y son la representación de las oscilaciones puras.

Una oscilación pura puede ser representada físicamente con el siguiente experimento: Imagínese una masa suspendida de un resorte como el de la figura.

Figura 5. Sistema vibratorio masa – resorte

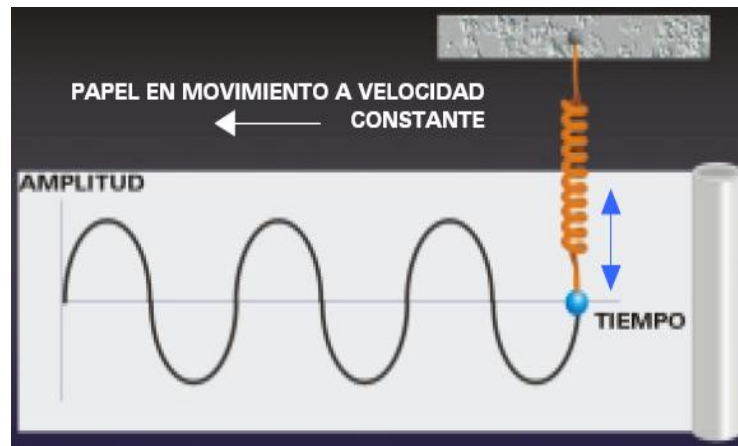


Fuente: MOROCHO M. “Análisis vibracional y alineamiento láser”

Si esta masa es soltada desde una distancia X_o , en condiciones ideales, se efectuará un movimiento armónico simple que tendrá una amplitud X_o . Ahora a la masa vibrante le adicionamos un lápiz y una hoja de papel en su parte posterior, de manera que pueda

marcar su posición. Si jalamos el papel con velocidad constante hacia el lado izquierdo se formará una gráfica parecida a la figura.

Figura 6. Obtención del movimiento armónico simple

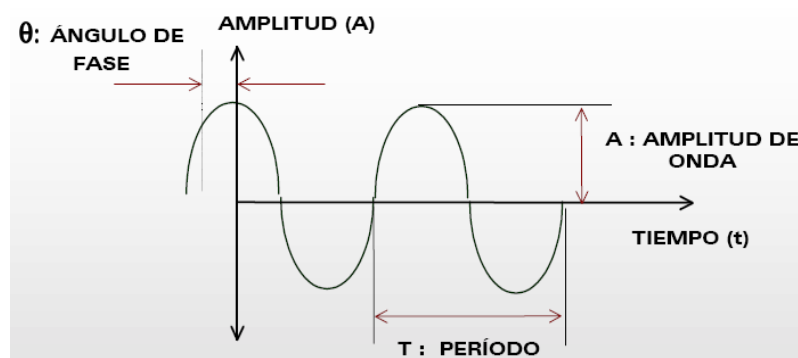


Fuente: "Congreso mexicano de confiabilidad y mantenimiento"

El tiempo que tarda la masa para ir y regresar al punto X_0 es constante. Este tiempo recibe el nombre de período de oscilación y significa que el resorte completó un ciclo.

El recíproco del período es la frecuencia. De esta onda sinusoidal también es importante definir la amplitud y la fase.

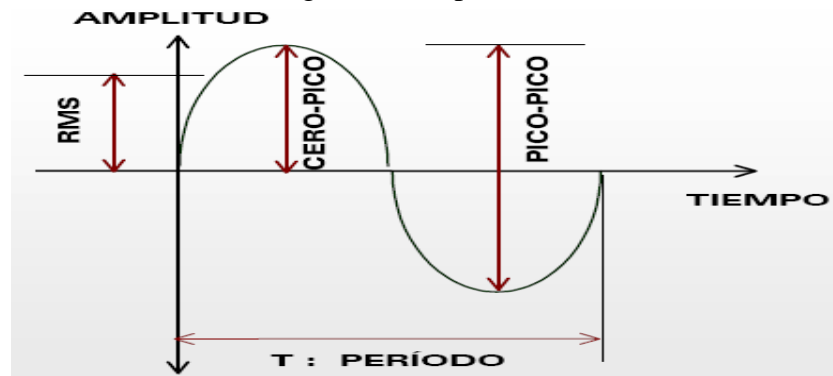
Figura 7. Onda sinusoidal



Fuente: "Congreso mexicano de confiabilidad y mantenimiento"

La amplitud desde el punto de vista de las vibraciones es cuánta cantidad de movimiento puede tener una masa desde una posición neutral. La amplitud se mide generalmente en valores pico – pico para desplazamiento y en valores cero – pico y RMS para velocidad y aceleración.

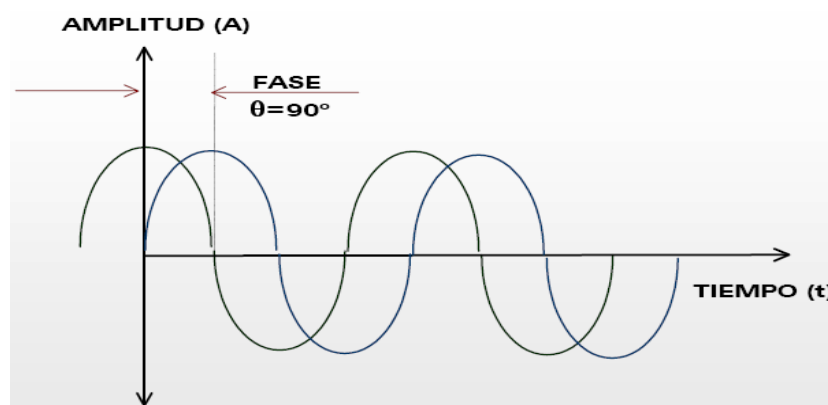
Figura 8. Amplitud



Fuente: “Congreso mexicano de confiabilidad y mantenimiento”

La fase realmente es una medida de tiempo entre la separación de dos señales, la cual puede ser relativa o absoluta. La figura muestra dos señales sinusoidales de igual amplitud y período, pero separadas 90° , lo cual indica que ambas curvas están desfasadas 90° .

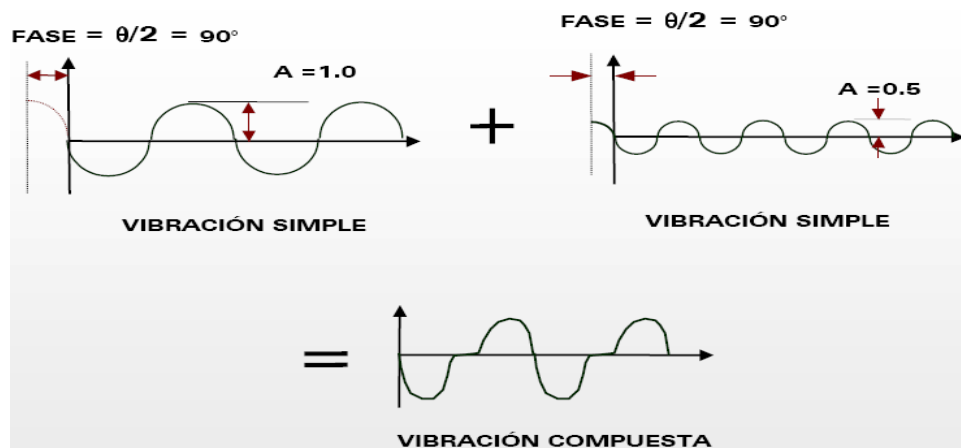
Figura 9. Ángulo de fase



Fuente: “Congreso mexicano de confiabilidad y mantenimiento”

2.2.5 Vibración compuesta. Una señal compuesta es una sumatoria de varias señales sinusoidales que comprenden cada uno de los componentes que se encuentran en la máquina, más todos los golpeteos y vibraciones aleatorias.

Figura 10. Vibración compuesta



Fuente: “Congreso mexicano de confiabilidad y mantenimiento”

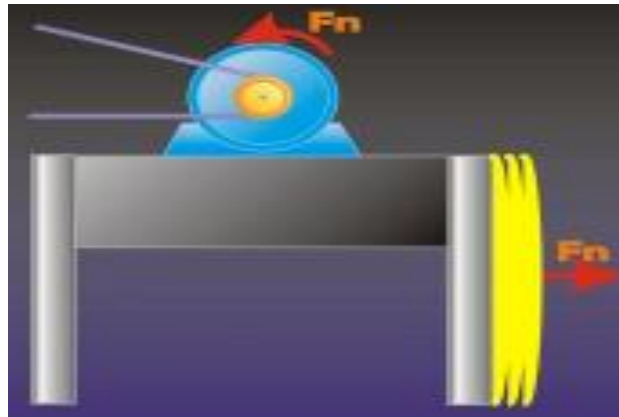
2.2.6 Frecuencia natural y resonancias. La frecuencia natural presenta un carácter muy diferente a las anteriormente nombradas, debido a que depende de las características estructurales de la máquina, tales como su masa, su rigidez y su amortiguación, incluyendo los soportes y tuberías adjuntas a ella. No depende de la operación de la máquina, a no ser que la rigidez sea función de la velocidad.

Si la frecuencia natural es excitada por un agente externo, la amplitud de vibración de la máquina se incrementará enormemente causando perjuicios que a corto o mediano plazo pueden llegar a ser catastróficos. Esto es lo que se conoce con el nombre de **resonancia**.

Cuando una resonancia es detectada, es necesario identificar el agente externo que la está produciendo e inmediatamente debe aislarse estructuralmente o cambiar su velocidad de operación. La figura muestra un motor que gira a una velocidad similar a

la frecuencia natural de su estructura de soporte. Lo que incrementa abruptamente los niveles de vibración de la máquina.

Figura 11. Frecuencia natural y resonancias

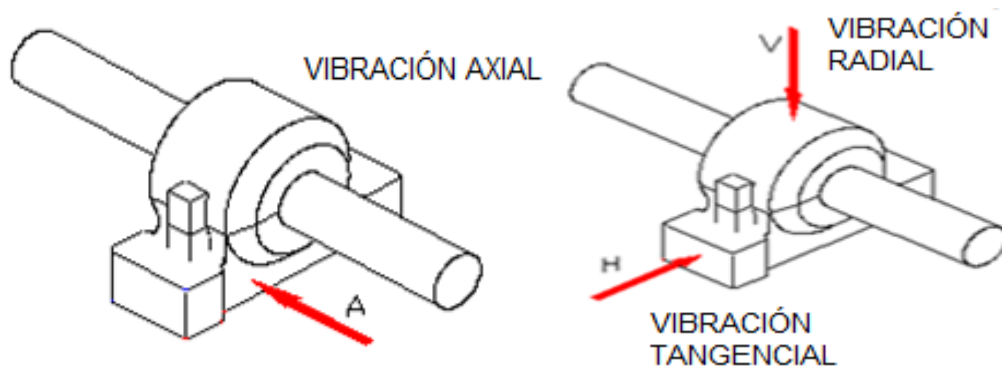


Fuente: “VI Congreso panamericano de Ingeniería de Mantenimiento”

2.3 Sentidos de medición [4]

Es recomendable montar el sensor de vibración orientado en los sentidos radial, tangencial y axial.

Figura 12. Sentidos de medición



Fuente: “VI Congreso panamericano de Ingeniería de Mantenimiento”

Hay que evitar las posiciones con variaciones de temperaturas o excesiva condensación, y en el caso de acelerómetros, el flujo de aire / fluidos sobre el sensor.

Dado que conocemos cómo los problemas crean vibraciones en cada plano, la lectura en tres sentidos puede ayudarnos a interpretar el origen de las mismas.

- **Radial.** La línea más corta posible que conecte el eje con la base de la máquina. Normalmente es menor que en el plano horizontal, debido a la diferencia de rigidez y a la acción de la gravedad.
- **Tangencial.** Línea paralela al suelo que forme un triedro trirectángulo con los otros 2 ejes. El desbalanceo es la causa más común de vibraciones en el plano radial horizontal. Normalmente las máquinas son más elásticas en el plano tangencial, por lo tanto el desbalanceo se manifiesta generalmente en este sentido.
- **Axial.** El sensor se coloca en la misma dirección del eje. En condiciones ideales presenta valores más bajos que las radiales, dado que las fuerzas generalmente son perpendiculares al eje. Sin embargo, los problemas de desalineaciones crean vibraciones en este sentido.

Esta es una guía de casos generales. Equipos montados verticalmente o con rotores en voladizo u otros casos particulares pueden mostrar diferentes respuestas.

2.4 Puntos de medición [5]

El lugar o ubicación en el cual se toman las mediciones de vibración los denominamos puntos. Estos puntos los ubicaremos en la carcasa de los rodamientos, elementos de transmisión de potencia y en la estructura de un elemento rotatorio. Los mismos que son seleccionados por medio de un criterio personal o bien empleando manuales generales. Es necesario conocer la forma adecuada de cómo se deben tomar los datos para que el análisis de vibraciones sea efectivo, de lo contrario los datos serán erróneos.

Es importante resaltar que el sensor tiene mayor sensibilidad en la dirección en el cual es montado. También se debe tomar la lectura, lo más cerca posible del cojinete o elemento rodante.

Evitar posicionar el sensor sobre partes muy delgadas, pues pueden presentar resonancias o flojidades.

2.5 Determinación de las frecuencias de monitoreo [6]

Para establecer las frecuencias de medición se deben tomar en cuenta algunos criterios iniciales para clasificar a los equipos en 4 categorías:

1. Equipo vital donde el daño o paralización restringe severamente la producción.
2. Equipo vital con respaldo donde un daño o paralización de ambas unidades restringe severamente la producción.
3. Equipo no vital con respaldo, cuya pérdida no afecta la producción.
4. Equipo no vital operado intermitentemente.

Además de esto se deberán considerar varios factores que podrían llamarse “de entorno” que son:

1. Seguridad del personal
2. Probabilidad de fallo
3. Nivel humano
4. Costo y efecto de una parada inesperada
5. Rapidez de avance de daño

Para establecer intervalos de medición se deben tomar en cuenta los criterios iniciales y los factores antes mencionados, por tanto se necesita que el personal que tome las decisiones tenga un conocimiento detallado de los procesos y de los equipos específicos.

Los siguientes son intervalos recomendados, sin que por ello cada empresa deba fijar el lapso que considere adecuado:

- Maquinaria que ha experimentado problemas en el pasado o el historial registra que los problemas se han desarrollado súbitamente, son monitoreadas mensualmente.
- Si la historia de operación es buena, la inspección es trimestral.
- Si la maquinaria es altamente confiable, los intervalos pueden ser de 6 a 12 meses.
- Equipo vital sin respaldo, puede evaluarse cada 15 días.
- Equipo vital con respaldo, debe monitorearse en intervalos mínimos mensuales.
- Equipo no vital con respaldo, se evalúa trimestralmente.
- Equipo no vital operado intermitentemente se puede monitorear trimestral o semestralmente.

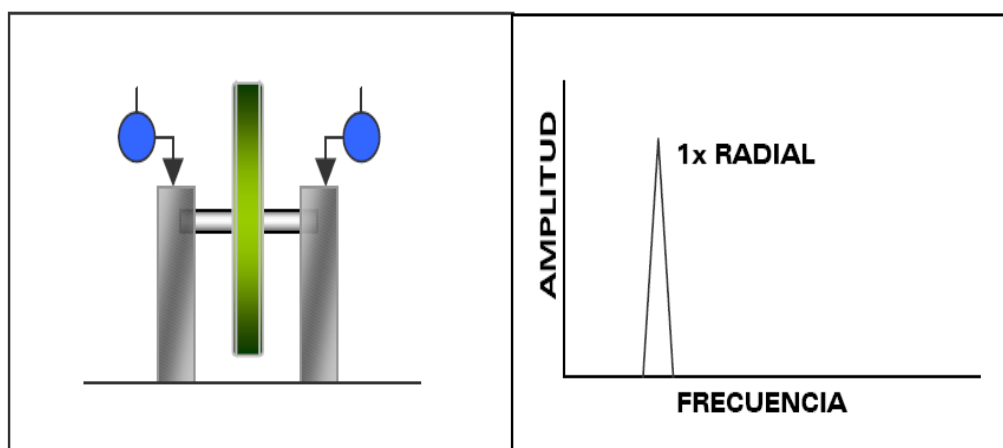
Una vez encontrado el problema, las mediciones se las deberá realizar con mayor periodicidad de acuerdo al tipo y severidad del mismo, y si la máquina llega a tal punto en que sus períodos de monitoreo sean demasiado frecuentes, eso nos indicará que el equipo se encuentra en condiciones muy deterioradas y seguramente requerirá mantenimiento correctivo.

2.6 Espectros tipo utilizados en el análisis vibracional [7]

2.6.1 Desbalanceo

2.6.1.1 Desbalanceo estático. Producido generalmente por desgaste radial superficial no uniforme en rotores en los cuales su largo es despreciable en comparación con su diámetro. El espectro presenta vibración dominante con una frecuencia igual a 1 X RPM del rotor. Se recomienda para corregir la falla balancear el rotor en un solo plano con la masa adecuada y en la posición angular calculada con un equipo de balanceo.

Figura 13. Desbalanceo estático

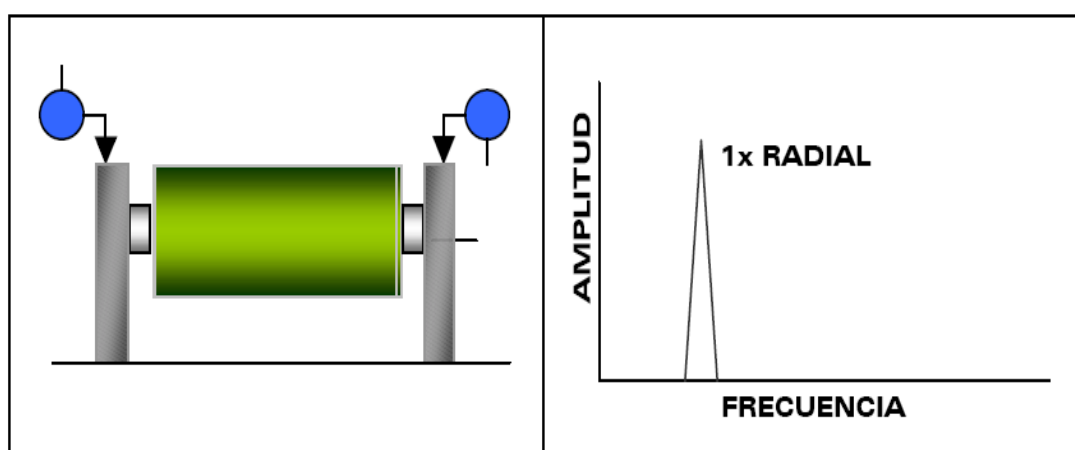


Fuente: A-MAQ S.A. “Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico”

2.6.1.2 Desbalanceo dinámico. Ocurre en rotores medianos y largos. Es debido a desgastes radiales y axiales simultáneos en la superficie del rotor. El espectro presenta vibración dominante y vaivén simultáneo a frecuencia igual a 1 X RPM del rotor.

Para corregir la falla balancear el rotor en dos planos con las masas adecuadas y en las posiciones angulares calculadas con un equipo de balanceo dinámico.

Figura 14. Desbalanceo dinámico

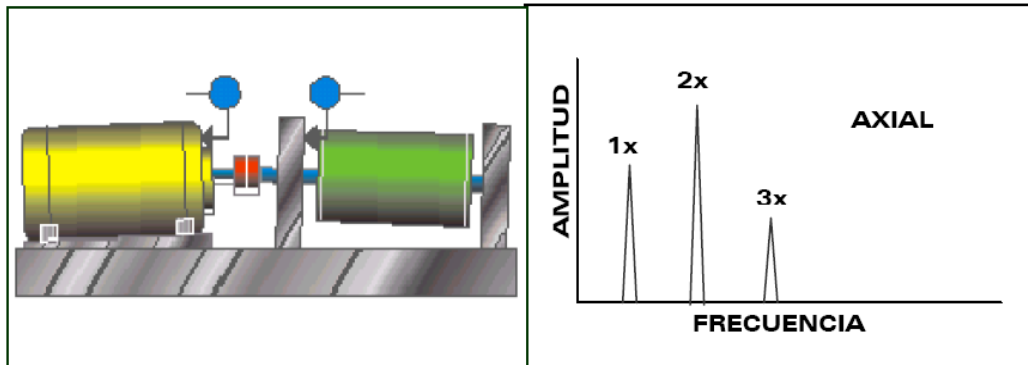


Fuente: A-MAQ S.A. “Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico”

2.6.2 Desalineación

2.6.2.1 Desalineación angular. Ocurre cuando el eje del motor y el eje conducido unidos en el acople, no son paralelos. Caracterizado por altas vibraciones axiales 1X RPM y 2X RPM son las más comunes, con desfase de 180 grados a través del acople.

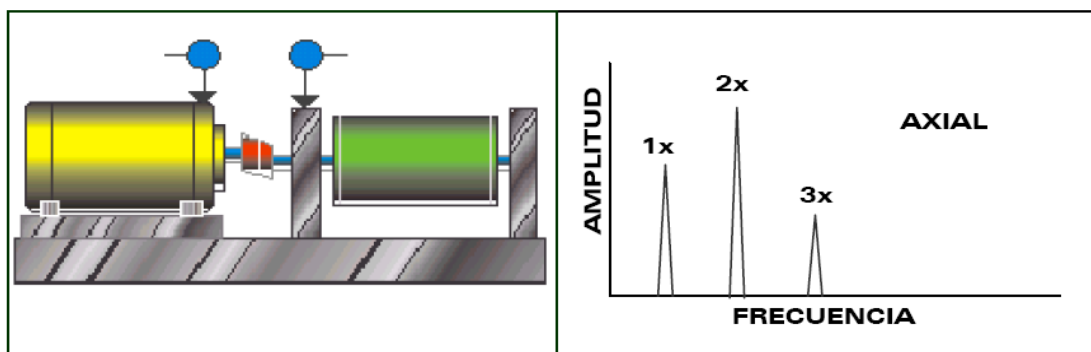
Figura 15. Desalineación angular



Fuente: A-MAQ S.A. “Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico”

2.6.2.2 Desalineación paralela. Los ejes del motor y del rotor conducido están paralelos, pero no son colineales. Se pueden detectar altas vibraciones radiales a 2X RPM, predominante, y a 1X RPM, con desfase de 180 grados a través del acople. Cuando aumenta la severidad, genera picos en armónicos superiores (4X, 8X).

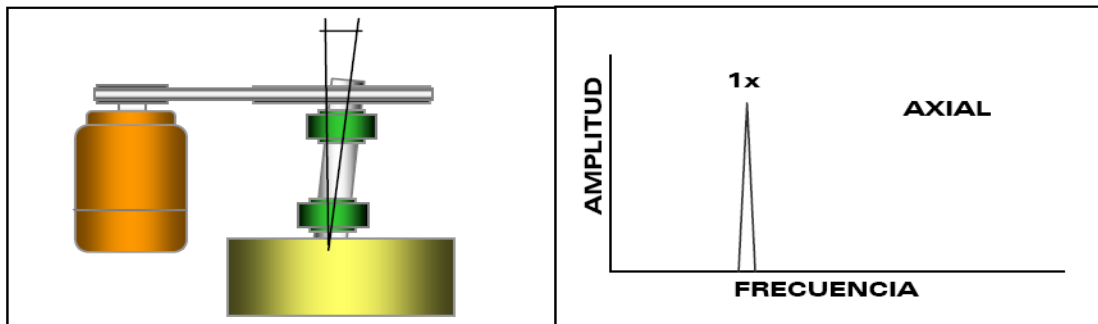
Figura 16. Desalineación paralela



Fuente: A-MAQ S.A. “Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico”

2.6.2.3 Desalineación entre chumaceras. La mala posición de las chumaceras puede evitar que el eje se acomode correctamente, lo cual genera vibraciones anormales en sentido axial y radial. Excitación del pico representativo de la velocidad (1X RPM), especialmente en sentido axial.

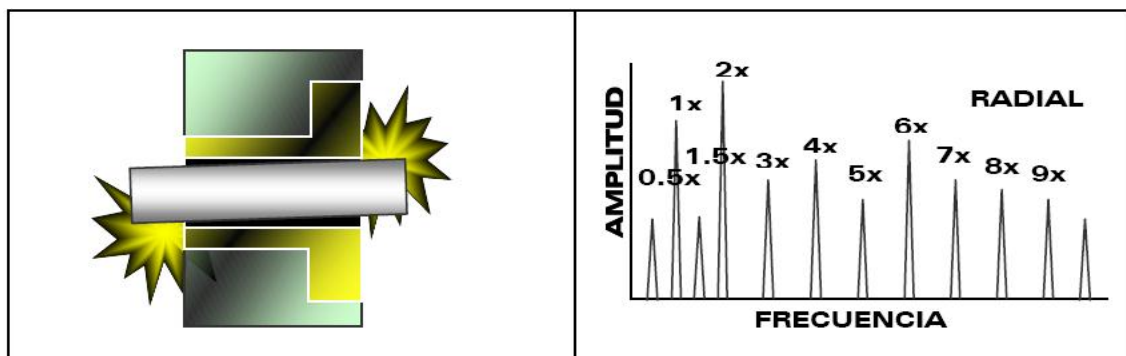
Figura 17. Desalineación entre chumaceras



Fuente: A-MAQ S.A. “Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico”

2.6.3 Holgura mecánica eje – agujero. Aflojamiento de manguitos, tolerancias de manufactura inadecuadas (con juego) y holgura entre el impulsor y su eje en bombas. La falla genera múltiples armónicos y subarmónicos de 1X RPM, destacándose los armónicos fraccionarios $1/2 X$, $1/3 X$, $1.5 X$, $2.5 X$,... Frecuentemente la fase es inestable y el nivel máximo tiende a una dirección notable realizando lecturas radiales espaciadas 30 grados entre sí.

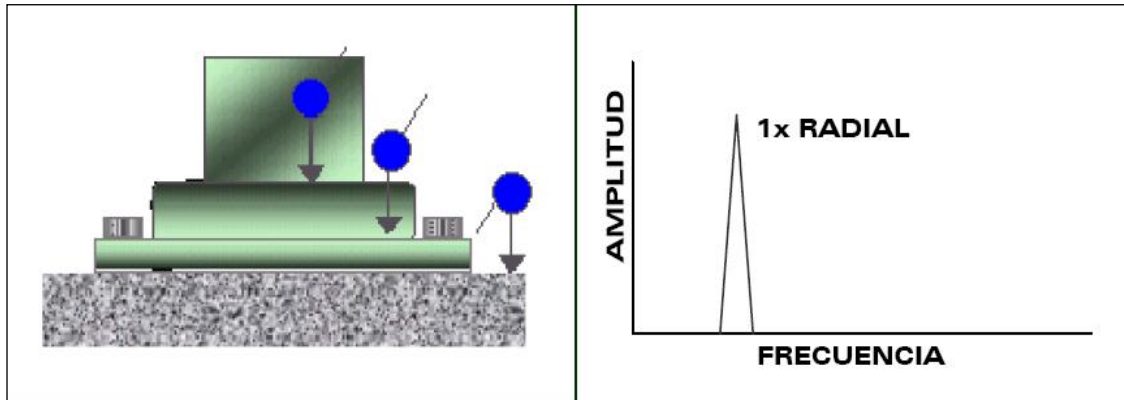
Figura 18. Holgura mecánica eje – agujero



Fuente: A-MAQ S.A. “Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico”

2.6.4 Soltura estructural. Desplazamiento del pie de la máquina, por holgura o deterioro de los componentes de sujeción. El espectro presenta vibración a 1X RPM en la base de la máquina con desfase a 180 grados entre los elementos sujetos en el anclaje.

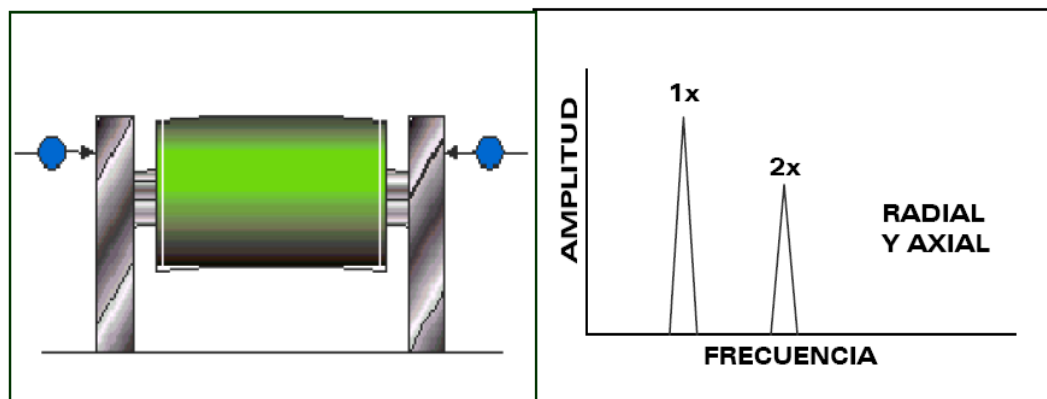
Figura 19. Soltura estructural



Fuente: A-MAQ S.A. “Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico”

2.6.5 Rotor o eje pandeado. Se produce por esfuerzos excesivos en el eje. Genera vibración axial alta con diferencia de fase de 180 grados medida en los dos soportes del rotor. La vibración dominante es de 1X RPM si el pandeo está cercano al centro del eje y es de 2X RPM si el pandeo está cerca del rodamiento.

Figura 20. Rotor o eje pandeado



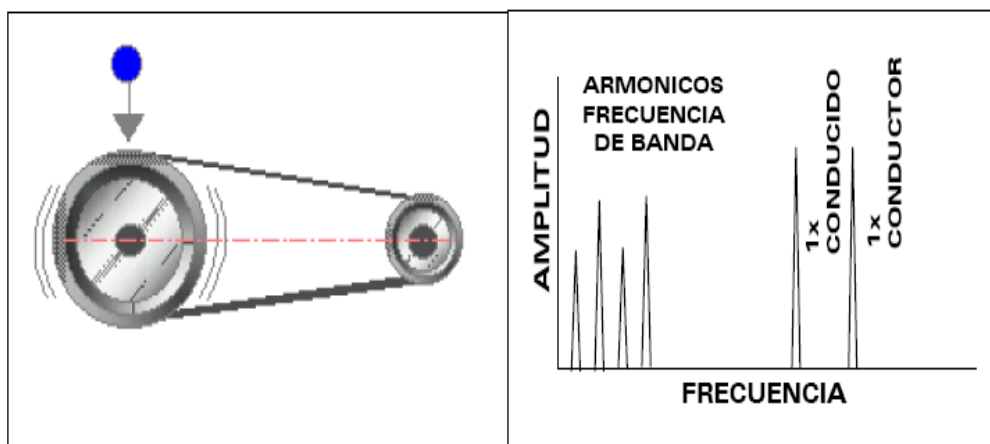
Fuente: A-MAQ S.A. “Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico”

2.6.6 Fallas en bandas y poleas

2.6.6.1 Distensión. Ocurre por sobrepaso de la vida útil de la banda, o por desgaste excesivo de la misma. Las frecuencias de bandas siempre están por debajo de la frecuencia del motor o máquina conducida.

Normalmente se encuentran cuatro picos y generalmente predomina el de 2x frecuencia de banda. Tienen amplitudes inestables. Para corregir el problema, si la banda no presenta demasiado desgaste intente tensionarla, de lo contrario replácela.

Figura 21. Distensión

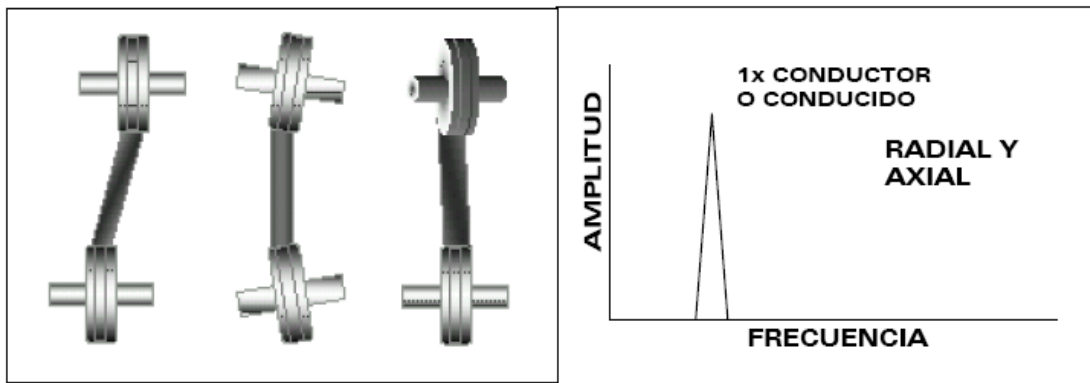


Fuente: A-MAQ S.A. “Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico”

2.6.6.2 Desalineación en poleas. Ocurre debido a que los ejes de las poleas no están alineados o no están paralelas. También pueden ocurrir ambos casos simultáneamente.

Produce alta vibración axial a 1x RPM de la conductora o la conducida, generalmente la conducida. La buena medida de las amplitudes de las vibraciones depende de donde sean tomados los datos.

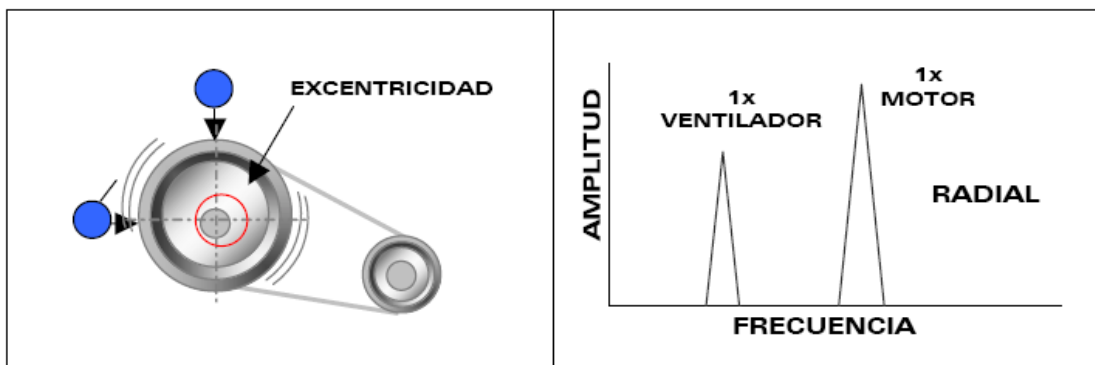
Figura 22. Desalineación en poleas



Fuente: A-MAQ S.A. “Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico”

2.6.6.3 Excentricidad de poleas. Ocurre cuando el centro de rotación no coincide con el centro geométrico en una polea. Produce alta vibración a 1x RPM de la polea excéntrica. Su amplitud está por encima de las amplitudes de las frecuencias de las bandas. Aunque es posible balancear poleas gracias a la adición de pesas.

Figura 23. Excentricidad de poleas



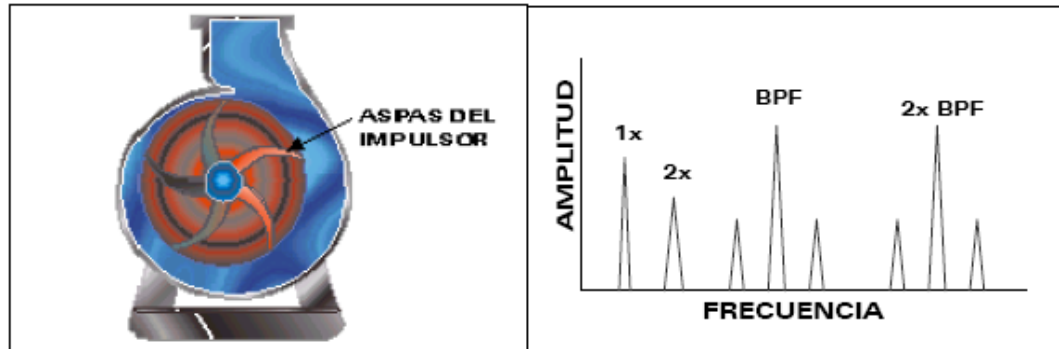
Fuente: A-MAQ S.A. “Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico”

2.6.7 Flujo de líquidos

2.6.7.1 Frecuencia de aspas. Producida por obstrucciones, cambios abruptos de direcciones o desgastes de juntas. La BPF es igual al número de aspas por la frecuencia

y es excitada en sus primeros dos armónicos con bandeamientos laterales.

Figura 24. Frecuencia de aspas

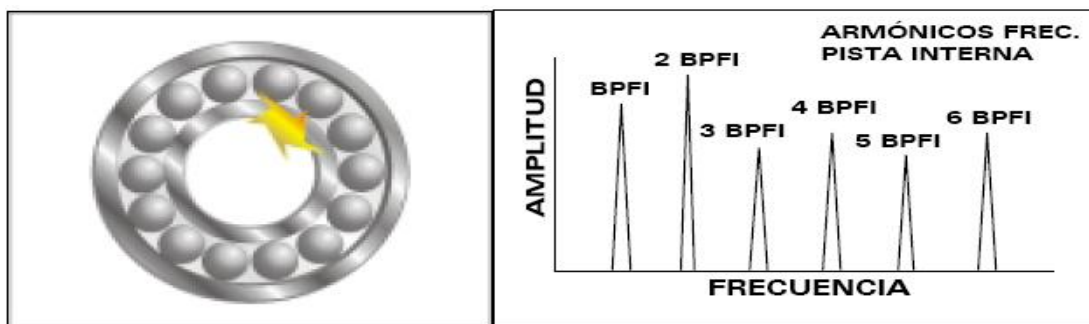


Fuente: A-MAQ S.A. "Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico"

2.6.8 Fallas en rodamientos

2.6.8.1 Falla en la pista interna. Producido por errores de ensamble, esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente. Se produce una serie de armónicos siendo los picos predominantes 1X y 2X RPM la frecuencia de falla de la pista interna, en dirección radial.

Figura 25. Falla en la pista interna

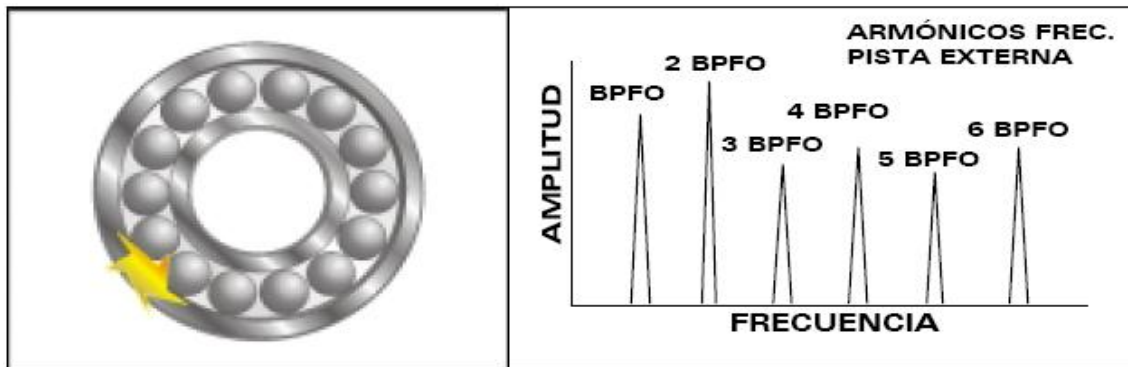


Fuente: A-MAQ S.A. "Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico"

2.6.8.2 Falla en la pista externa. Agrietamiento del material en la pista externa,

producido por errores de ensamble, sobre esfuerzos, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente. Se produce una serie de armónicos siendo los picos predominantes 1X y 2X RPM la frecuencia de falla de la pista externa, en dirección radial.

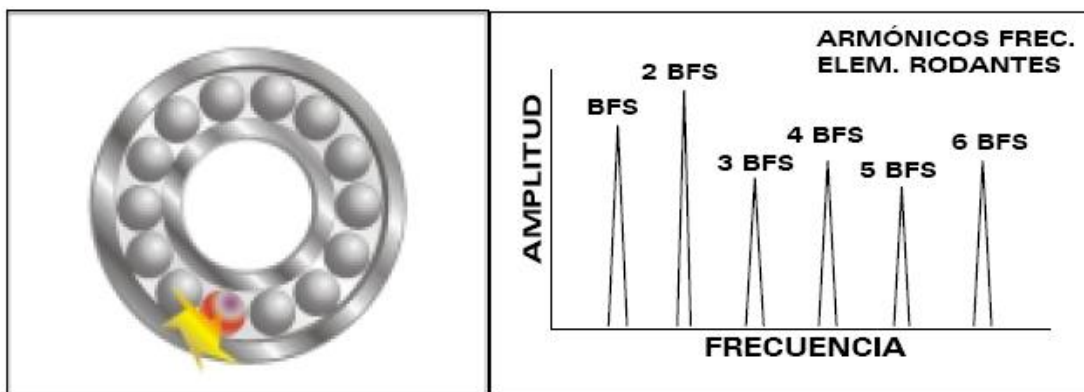
Figura 26. Falla en la pista externa



Fuente: A-MAQ S.A. "Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico"

2.6.8.3 Falla en los elementos rodantes. Agrietamiento del material en los elementos rodantes, producido por errores de ensamble, esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente. Se produce una serie de armónicos siendo los picos predominantes 1X y 2X RPM la frecuencia de falla de los elementos rodantes, en dirección radial.

Figura 27. Falla en los elementos rodantes



Fuente: A-MAQ S.A. "Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico"

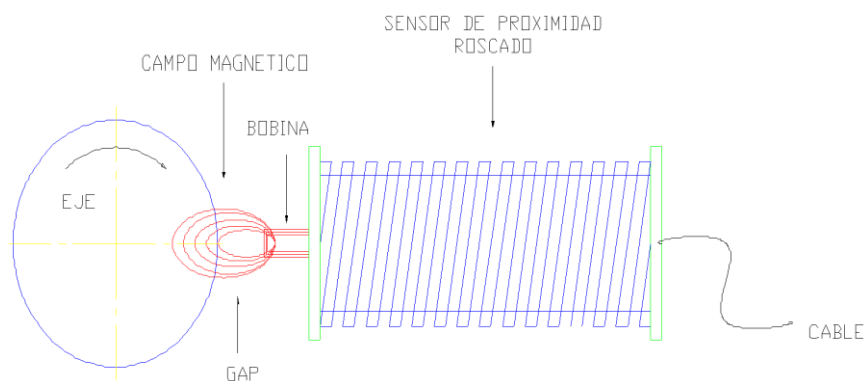
2.7 Clasificación de transductores [8]

El transductor de vibraciones es un aparato que produce una señal eléctrica que es una réplica o análogo del movimiento vibratorio al cual está sujeto. Un buen transductor no debe agregar falsos componentes a la señal y debería producir señales uniformes en todo el rango de frecuencias que nos interesa. Los diferentes tipos de transductores responden a parámetros diferentes de la fuente de vibración.

2.7.1 Transductores de proximidad. Los sensores de proximidad son también llamados sensores de no contacto. Consisten en una bobina alrededor de un núcleo ferroso que crea un campo magnético entre la punta del transductor y el eje, un cambio del espacio (gap) entre el transductor y el eje produce un cambio en el campo magnético por la generación de corrientes inducidas o parásitas de Eddy que modifican la señal proporcionalmente al desplazamiento del objeto medido.

El eje debe ser electromagnético. Este tipo de sensor posee una bobina en la punta del transductor. La fuente genera una señal AC de muy alta frecuencia (señal portadora). Esta señal hace que la bobina produzca un campo magnético en la punta del transductor.

Figura 28. Transductor de proximidad



Fuente: PALOMINO, E. “La medición y el análisis de vibraciones en el diagnóstico de máquinas rotatorias”

Se usa en cojinetes hidrodinámicos de baja velocidad, la medición se realiza directamente sobre el eje. Requieren calibración y una fuente externa de energía para su funcionamiento. Tienen muy buena respuesta en baja frecuencia, de 0 a 400 Hz.

Ventajas:

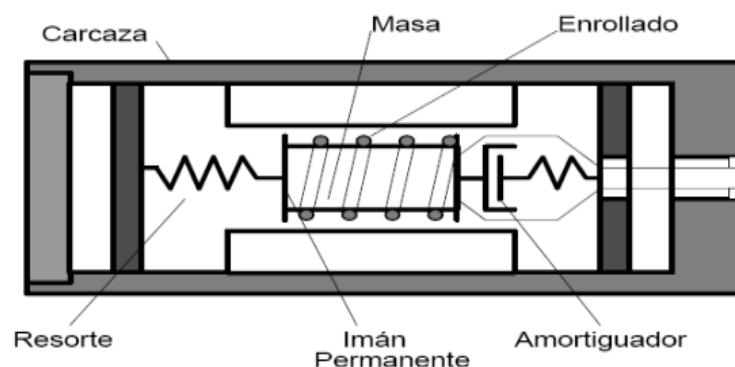
- Puede ser utilizado con cualquier material conductor.
- De construcción robusta, no tienen partes móviles.
- El recambio del sensor es posible sin recalibraciones.

Desventajas:

- Es sensible a cambios en la superficie del eje.
- Requiere fuente externa de poder.
- No es recomendado su uso en cojinetes de rodamiento.

2.7.2 Transductores de velocidad. También llamados sensores sísmicos, está compuesto de una bobina cilíndrica y un imán permanente suspendido en resortes en la mitad en un medio fluido. Al colocarse el transductor en los soportes de rodamientos, la vibración transmitida produce oscilación en el magneto que induce una corriente eléctrica y diferencia de potencial en la bobina que es proporcional a la amplitud de vibración.

Figura 29. Transductor de velocidad



Fuente: PALOMINO, E. “La medición y el análisis de vibraciones en el diagnóstico de máquinas rotatorias”

Es de uso muy común, especialmente para mediciones en soportes de rodamientos (chumaceras), no requiere de fuente externa. Puede tener problemas de interferencia del campo magnético.

Su aplicación está especialmente en el rango de 2 Hz a 1 KHz., no es aplicable para altas frecuencias por su baja frecuencia natural. La masa del sistema es una bobina soportada por resortes. Estos transductores son diseñados para medir vibraciones preferentemente a frecuencias mayores que la frecuencia natural del sistema masa – resorte.

Cuando la carcasa del sensor es adherida a la superficie vibrante el voltaje generado es directamente proporcional a la velocidad de la parte vibrante. La señal de este sensor es bastante fuerte y puede ser transmitida típicamente, sin amplificación, hasta 30 metros.

Ventajas:

- Construcción robusta.
- Elevada sensibilidad aún a bajas frecuencias.
- Sensor activo, no requiere fuente de alimentación.
- Longitud del cable no es un factor crítico.

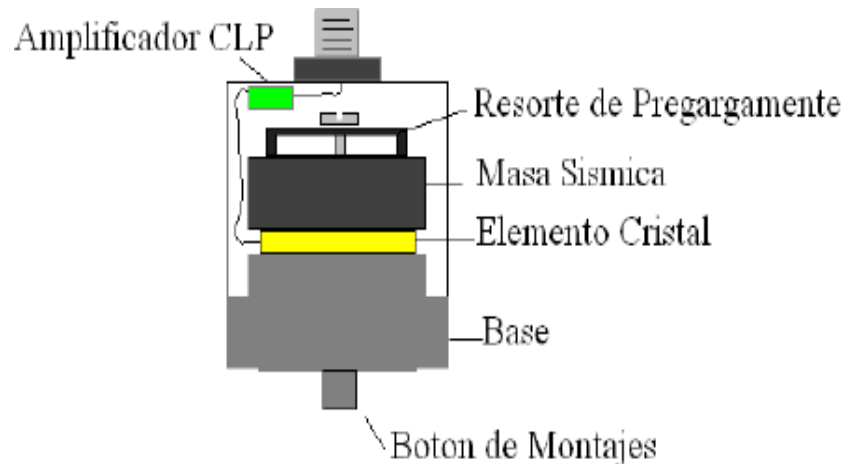
Desventajas:

- Comparativamente mayor peso y tamaño que otros transductores de vibración.
- Sensibles a campos magnéticos fuertes.
- No es efectivo para sensar vibraciones de altas frecuencias.

2.7.3 Acelerómetros. Es un instrumento auto generativo que produce una señal de salida proporcional a la aceleración de la vibración. Consiste en un pedazo de cristal piezoeléctrico que se encuentra en contacto con una masa. Cuando se pone en contacto la armadura del sensor con el medio vibrante (chumaceras) la fuerza de excitación

intenta deformar al cristal y éste por sus propiedades piezoeléctricas genera una señal eléctrica como respuesta.

Figura 30. Acelerómetro



Fuente: PALOMINO, E. “La medición y el análisis de vibraciones en el diagnóstico de máquinas rotatorias”

Operan en una amplia gama de frecuencias, desde 0 hasta más de 400 KHz, son recomendables para maquinaria de alta velocidad y alta frecuencia.

Ventajas:

- Insensibles a campos magnéticos.
- No son unidireccionales.
- Reducidas dimensiones y ligero peso.
- Carcaza inoxidable sellada herméticamente.

Desventajas:

- Baja sensibilidad a bajas frecuencias.
- Muy sensibles a los golpes.

- Sensible a ruido externo.

El desarrollo tecnológico presenta ahora en el mercado transductores llamados acelerómetros triaxiales, que tienen la capacidad de hacer mediciones en tres direcciones sin la necesidad de mover el transductor.

2.8 Estándares determinados para el análisis vibracional [9]

2.8.1 Normas de severidad vibracional. El estado de una máquina se determina mejor, por una serie de mediciones de vibración hecho en un largo tiempo. Normas absolutas se pueden usar como guía si no hay datos históricos.

A través de los años, se hicieron varios intentos para establecer niveles de vibración absolutos o normas de niveles para una operación aceptable en diferentes tipos de máquinas.

2.8.1.1 Norma ISO 2372. La norma ISO 2372 especifica diferentes límites en la condición mecánica de la máquina de acuerdo con las potencias de ésta y el tipo de soporte. Estos indicadores contemplan la medición del nivel total de velocidad RMS dentro de un rango de frecuencias de entre 10 Hz y 1000Hz.

Es aplicable a los equipos rotativos cuyo rango de velocidad de giro está entre 600 y 12000 RPM. Especifica niveles de velocidad general de vibración en lugar de niveles espectrales y puede ser muy engañosa. Debido al rango limitado de alta frecuencia se puede fácilmente dejar pasar problemas de rodamientos con elementos rodantes. Esta norma está considerada obsoleta y se va a reformular.

Tabla 1. Norma ISO 2372

Level, VdB	Menos que 20 HP	20 A 100 HP	Más que 100 HP
125	No permisible	No permisible	No permisible
121	No permisible	No permisible	Apenas tolerable
117	No permisible	Apenas tolerable	Apenas tolerable
113	Apenas tolerable	Apenas tolerable	Permisible
109	Apenas tolerable	Permisible	Permisible
105	Permisible	Permisible	Bueno
101	Permisible	Bueno	Bueno
97	Bueno	Bueno	Bueno

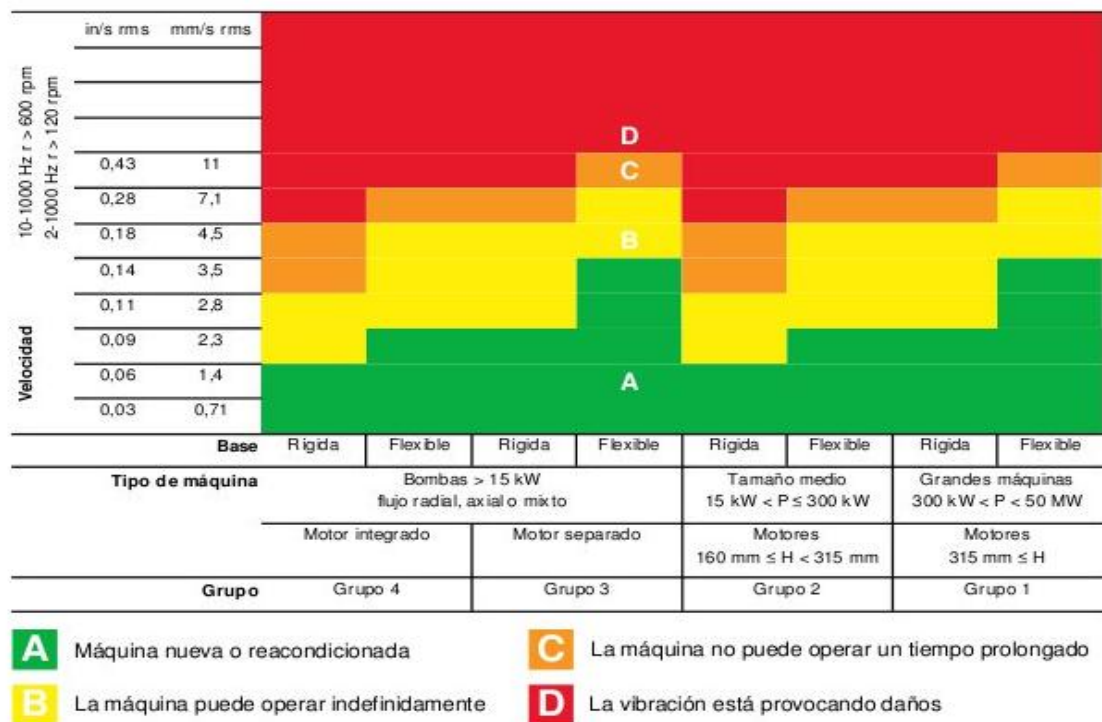
Fuente: GLENN, W. “Vibraciones mecánicas”

2.8.1.2 Norma ISO 10816. Norma internacional que clasifica a las máquinas en grupos de acuerdo a la potencia del motor. Mientras más grande es la máquina, mayor es su capacidad de soportar vibración. La norma ISO 10816 es aplicable para máquinas con registros de vibración tomados en la carcasa.

Esta norma consta de cinco partes:

- Parte 1: Indicaciones generales.
- Parte 2: Turbinas de vapor y generadores que superen los 50 MW con velocidades típicas de trabajo de 1500, 1800, 3000 y 3600 RPM.
- Parte 3: Maquinaria industrial con potencia nominal por encima de 15 kW y velocidades entre 120 y 15000 RPM.
- Parte 4: Conjuntos movidos por turbinas de gas excluyendo las empleadas en aeronáutica.
- Parte 5: Conjuntos de máquinas en plantas de hidrogenación y bombeo (únicamente disponible en inglés).

Figura 31. Norma ISO 10816



Fuente: GLENN, W. “Vibraciones mecánicas”

2.8.1.3 Normas DLI. La tabla que enseñamos a continuación se puede aplicar a un gran número de máquinas rotativas con una confianza razonable. Es una destilación de datos de un rango importante de maquinaria industrial.

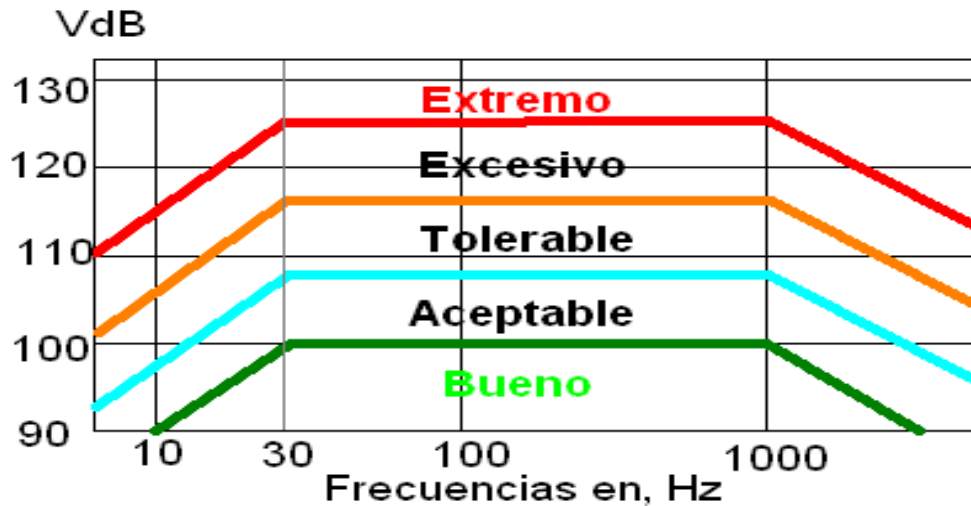
Tabla 2. Norma DLI

Nivel de vibración	< 30 Hz	30 Hz - 1000 Hz	> 1000 Hz
Extremo	10 mils p-p	125 VdB rms	11.2 G rms
Excesivo	4.2 mils p-p	117 VdB rms	4.46 G rms
Tolerable	1.5 mils p-p	108 VdB rms	1.58 G rms
Aceptable	0.6 mils p-p	100 VdB rms	0.630G rms

Fuente: GLENN, W. “Vibraciones mecánicas”

La misma información se encuentra en forma gráfica en la siguiente figura:

Figura 32. Gráfica de la norma DLI



Fuente: GLENN, W. “Vibraciones mecánicas”

2.8.2 Niveles aceptables de vibración. Los niveles de vibración nos ayudarán a determinar la intensidad de la misma, puesto que nos permitirá comparar los datos obtenidos con el monitoreo al momento de medir y hacernos una idea de cómo se encontrarían los diferentes activos, los valores admisibles de vibración para los activos son:

Tabla 3. Niveles aceptables de vibración

MÁQUINAS Y ELEMENTOS	VALORES ADMISIBLES
Turbinas de gas, de vapor o hidráulicas	2.5 mm/s
Motores eléctricos, bombas, ventiladores	4.5 mm/s
Ventiladores asentados en resortes	7.1 mm/s
Motores de combustión interna	12.5 mm/s
Llanta de un auto	40 mm/s

Fuente: A-MAQ S.A. “Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico”

2.9 Reglas para interpretación de los espectros y determinación de problemas

2.9.1 Tablas de diagnóstico vibracional [10]

Tabla 4. Desbalanceo

Fuente de vibración	Frecuencia de excitación	Plano dominante	Amplitud	Carácter espec. de la envolvente	Comentarios
Desbalanceo de masa	1X	Radial*	Uniforme	Banda angosta	Flexión debida a tensiones estáticas que pueden causar un incremento de la amplitud
Dinámico	1X	Radial		Por lo general algunos armónicos 1X	Forma mas común de desbalanceo
Par de fuerzas	1X	Radial, axial			
Rotor sobresaliente	1X	Axial, radial			

Fuente: GLENN, W. “Vibraciones mecánicas”

Tabla 5. Desalineación

Fuente de vibración	Frecuencia de excitación	Plano dominante	Amplitud	Carácter espec. de la envolvente	Comentarios
Desalineación angular	1X, 2X	Axial	Uniforme	Banda angosta	La mayoría de las desalineaciones son una combinación de paralelo y angular
Desalineación paralelo	1X, 2X	Radial	Uniforme	Banda angosta	En largos acoplamientos, 1X será mas alto
Combinación de paralelo y angular	1X, 2X	Radial, axial	Uniforme	Banda angosta	Desalineación también se ve múltiplos de 2X
Rodamiento chueco	2X, 1X incrementados y tonos de rodamiento	Radial, axial	Alta uniforme	Banda angosta	Generalmente acompañada de componentes axiales

Impulsadora desalineada	2X, incremento en armónicos de ritmo de alabes	Radial	Uniforme	Banda angosta	Generalmente acompañada de amplitudes bajas axiales
Desalineamiento de engranes	Fuerte ritmo de engrane	Radial, axial	Uniforme	Generalmente bandas laterales alrededor del ritmo del engrane	Armónicos de engrane son comunes

Fuente: GLENN, W. “Vibraciones mecánicas”

Tabla 6. Problemas de compresor

Fuente de vibración	Frecuencia de excitación	Plano dominante	Amplitud	Carácter espec. de la envolvente	Comentarios
Tipo difusor	Paso de alabes	Radial	Uniforme	Banda angosta	
Tipo pistón	2X	Radial, axial	Uniforme	Banda angosta	Por lo general armónicos 1X

Fuente: GLENN, W. “Vibraciones mecánicas”

Tabla 7. Problemas de ventiladores

Fuente de vibración	Frecuencia de excitación	Plano dominante	Amplitud	Carácter espec. De la envolvente	Comentarios
Problema de juego de aspas y del carter del ventilador	Ritmo de aspas = X veces el numero de aspas	Radial	Uniforme	Banda angosta	A veces hay armónicos al paso de aspas
Desbalanceo del ventilador	1X	Radial	Uniforme	Banda angosta	
Problema de paso	1X	Axial	Uniforme	Banda angosta	
Velocidad de aire desigual	Paso de aspas	Radial	Uniforme	Banda angosta	

Fuente: GLENN, W. “Vibraciones mecánicas”

Tabla 8. Holgura mecánica

Fuente de vibración	Frecuencia de excitación	Plano dominante	Amplitud	Carácter espec. de la envolvente	Comentarios
Holgura de la base	Armónicos 1X	Generalmente tangencial	Uniforme	Banda angosta	Indicado por flexibilidad de la base
Holgura en rodamiento gorrón	Armónicos 1X	Radial	Uniforme	Banda angosta	Los armónicos se pueden extender hasta 10X
Holgura extrema de rodamiento con gorrón	Armónicos 0.5X	Radial	Uniforme		A veces también hay armónicos 0.25X

Fuente: GLENN, W. "Vibraciones mecánicas"

Tabla 9. Problemas de bandas

Fuente de vibración	Frecuencia de excitación	Plano dominante	Amplitud	Carácter espec. de la envolvente	Comentarios
Bandas mal emparejadas, desgastadas o estiradas	Múltiplos de la frecuencia de banda (B). Por lo general 2B es lo mas fuerte	Radial en línea con las bandas			B siempre es inferior a 1X
Poleas excéntricas o desbalanceadas	Flecha 1X	Radial	Uniforme		Se confunde fácil con desbalanceo
Desalineación de la banda o de la polea	1X de la conductora o la conducida	Axial	Uniforme		Confirmar con un estroboscopio
Resonancia de la banda	Varia	Radial	Puede fluctuar		Resonancia de la banda sin relación con la velocidad de rotación
Tension de la banda incorrecta	Picos de la frecuencia de banda, generalmente predomina el 2B	Radial	Inestable		Puede provocar el desgaste de los rodamientos

Fuente: GLENN, W. "Vibraciones mecánicas"

Tabla 10. Problemas de rodamientos con elementos rodantes

Observen: **X**: frecuencia de rotación

ftf: frecuencia fundamental de tren (aprox. 0.38X hasta 0.42X)

bsf: frecuencia de rotación de bola (aprox. 1.5X hasta 3X)

bpfi: frecuencia de paso de bola, anillo interior (aprox. 4X hasta 10X)

bpfo: frecuencia de paso de bola, anillo exterior (aprox. 2X hasta 7X)

Fuente de vibración	Frecuencia de excitación	Plano dominante	Amplitud	Carácter espec. de la envolvente	Comentarios
Anillo interior defectuoso. Defecto pequeño	Bpfi, armónicos de bpfi	Radial	Uniforme	Picos no síncronos	Carga radial
Defecto interior defectuoso, un defecto moderado	Bpfi con armónicos y bandas laterales de 1X	Radial	Modulado en amplitud	Picos no síncronos con bandas laterales de 1X	Niveles de carga radial incrementados
Anillo interior defectuoso. Dos o tres defectos pequeños	Bpfi y armónicos Radial prominentes	Radial	Alta, uniforme	Banda ancha	El ruido de banda ancha incrementa
Anillo interior defectuoso. Múltiples pequeños defectos. Aspereza alrededor del anillo	Bpfi y armónicos prominentes	Radial	Alta, uniforme	Picos no síncronos	El ruido de banda ancha incrementa
Anillo exterior defectuoso. Un pequeño defecto	Bpfo y armónicos	Radial	Uniforme	Picos no síncronos	Los armónicos tienen un mas alto que la frecuencia fundamental
Anillo exterior defectuoso. Un solo defecto moderado	Bpfo y armónicos	Radial	Uniforme	Picos no síncronos	El ruido de banda ancha incrementa
Bola o rodillo defectuoso (Único)	Bsf y armónicos	Radial	Alta uniforme	Banda angosta	
Bolas defectuosas (varias)	Bsf y armónicos	Radial	Uniforme	Banda angosta	El ruido de banda ancha incrementa
Jaula defectuosa rota en un lugar	Ruido de banda ancha	Radial	Uniforme	Banda ancha	Nivel de ruido bajo

Jaula rota en pedazos	Ruido de banda ancha	Radial	Uniforme	Banda ancha	Ruido causado por los pedazos de la jaula en el rodamiento
Precarga o lubricación inadecuada	Ruido de alta frecuencia monton de "heno"	Radial		Banda ancha	El ruido de banda ancha incrementa
Holgura del cárter	1X, 2X, 3X	Radial		Banda angosta	
Holgura extrema o falla	0.5X, 1X Armónicos	Radial			Línea de base del ruido de baja frecuencia se va elevando
Juego excesivo en un rodamiento	Armónicos 0.5X, 1X	Radial			4X hasta 8X o 7X hasta 15X
Rodamiento chueco	2X, 1X, Tonos de rodamiento	Radial, axial	Elevado uniforme	Banda angosta	Diferencia de fase de 180 grados en medidas axiales en cada lado del cárter del rodamiento

Fuente: GLENN, W. "Vibraciones mecánicas"

Tabla 11. Problemas de turbinas

Fuente de vibración	Frecuencia de excitación	Plano dominante	Amplitud	Carácter espec. de la envolvente	Comentarios
Problema de juego del rotor	Ritmo de paso de alabes del rotor	Radial	Uniforme	Banda angosta	Los armónicos por lo general son mas altos en nivel que 1X. Bandas laterales alrededor del paso de alabes en 1X.

Fuente: GLENN, W. "Vibraciones mecánicas"

2.9.2 Reglas para el análisis de espectros

- **DESBALANCEO**

Ejes soportados en ambos lados = 1XR y 1XT altos en ambos lados.

Eje en voladizo = 1XA mayor que 1XR o 1XT.

- **RODAMIENTO DESALINEADO**

2X mayor que 1X en cualquier lado

- **DESALINEAMIENTO ANGULAR**

1XA mayor que 1XR o 1XT en ambos lados del motor.

- **DESALINEAMIENTO PARALELO**

2XR o 2XT mayor que 1XR o 1XT en cualquier lado del motor.

- **PIE COJO**

1XR alto

- **FLEXIBILIDAD TRANSVERSAL**

1XT mayor que 1XR en los dos lados del motor.

- **EJE PANDEADO**

1XA alto en ambos lados del motor.

- **ROZAMIENTOS**

Picos menores a 1X altos.

- **FALLAS DE ACOPLES**

Picos en 3X altos.

- **FALLA DE RODAMIENTOS**

Armónicos no síncronos.

Bandas laterales.

- **HOLGURA MECÁNICA**

Picos altos desde 3X.

- **FASE ELÉCTRICA**

Pico alto a 120 Hz.

CAPÍTULO III

3. EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS EQUIPOS EXISTENTES EN EL PARQUE ACUÁTICO MORETE PUYU

3.1 Estado técnico actual de los equipos

El estado técnico de un equipo se definió como las condiciones técnicas y funcionales que éste presenta en el momento determinado.

Un equipo que está sometido a un determinado régimen de trabajo se deteriora continuamente y su estado técnico puede llegar a tal punto, que se refleje en la mala calidad de la producción elaborada, en un bajo rendimiento, en el aumento de las roturas imprevistas de los elementos e incluso, en el aumento de los riesgos que para el obrero significa su operación.

Al evaluar los equipos o parte de ellos, su estado técnico se determinó por la eficiencia que presentó en relación con la que originalmente tenía. La eficiencia de un equipo se traduce en producción realizada, por lo que tomando en cuenta dicha eficiencia, el estado técnico se evaluó de la siguiente manera:

La inspección que se llevó a cabo para determinar el estado técnico de un equipo, deberá contemplar los aspectos siguientes:

- Consumo de energía.
- Funcionamiento del mecanismo motriz.
- Estado de la carcasa o cuerpo del equipo.
- Funcionamiento de los mecanismos de regulación y mando.
- Estado de las correas, cadenas de transmisión, acoples, etc.
- Estado de conservación de los instrumentos que indican los parámetros de

funcionamiento del equipo.

- Nivel de ruido y vibraciones.

Tabla 12. Criterios para determinar el estado técnico de un equipo

ESTADO TÉCNICO	PORCENTAJE
Bueno	90 a 100 %
Regular	75 a 89 %
Malo	50 a 74 %
Muy malo	Menos de 50%

Fuente: Autor

Una vez conocido los porcentajes de valoración, fue muy necesario determinar el estado técnico de un equipo, empleando el procedimiento siguiente:

- Se multiplicó la cantidad de aspectos evaluados como buenos por 1; los evaluados como regulares por 0.80; los evaluados como malos por 0.60 y los evaluados como muy malos por 0.40.
- Se sumaron todos estos productos y el resultado se dividió entre la cantidad de aspectos evaluados.
- El resultado anterior se multiplicó por 100 y se obtuvo el índice que permitió evaluar, según los criterios ya señalados, el estado técnico del equipo en su conjunto.

De esta manera logramos determinar el estado técnico de cada uno de los equipos que a continuación detallamos:

Tabla 13. Estado técnico del ventilador de alta presión 1

VENTILADOR ALTA PRESIÓN 1				
MARCA VENTILADOR : EDOSPINA MARCA MOTOR: US MOTORS		RESPONSABLE DEL MANTENIMIENTO: SR. CARLOS GUAMÁN		
CÓDIGO TÉCNICO:		SIGNIFICADO:		
CÓDIGO ACTIVO FIJO:		SIGNIFICADO:		
MANUALES: Si: _____ No: <u> X </u> CÓDIGO: SIGNIFICADO:	PLANOS: Si: _____ No: <u> X </u> CÓDIGO: SIGNIFICADO:	REPUESTOS: Si: _____ No: <u> X </u> CÓDIGO: SIGNIFICADO:		
ESTADO TÉCNICO		Malo	Regular	Bueno
➤ Estado del anclaje				X
➤ Estado de la carcasa				X
➤ Estado de los elementos generadores de movimiento			X	
➤ Estado de las redes eléctricas				X
➤ Funcionamiento de los mecanismos			X	
➤ Nivel de ruido y vibración			X	
➤ Estado del tablero de control			X	
➤ Lubricación			X	
CONCLUSIÓN: ESTADO TÉCNICO REGULAR 87.5 %				

Fuente: Autor

Tabla 14. Estado técnico del ventilador de alta presión 2

VENTILADOR DE ALTA PRESIÓN 2				
MARCA VENTILADOR: EDOSPINA MARCA MOTOR: US MOTORS		RESPONSABLE DEL MANTENIMIENTO: SR. CARLOS GUAMÁN		
CÓDIGO TÉCNICO:		SIGNIFICADO:		
CÓDIGO ACTIVO FIJO:		SIGNIFICADO:		
MANUALES: Si: _____ No: <u> X </u> CÓDIGO: SIGNIFICADO:	PLANOS: Si: _____ No: <u> X </u> CÓDIGO: SIGNIFICADO:	REPUESTOS: Si: _____ No: <u> X </u> CÓDIGO: SIGNIFICADO:		
ESTADO TÉCNICO		Malo	Regular	Bueno
➤ Estado del anclaje				X
➤ Estado de la carcasa				X
➤ Estado de los elementos generadores de movimiento			X	
➤ Estado de las redes eléctricas				X
➤ Funcionamiento de los mecanismos			X	
➤ Nivel de ruido y vibración		X		
➤ Estado del tablero de control			X	
➤ Lubricación			X	
CONCLUSIÓN: ESTADO TÉCNICO REGULAR 85 %				

Fuente: Autor

Tabla 15. Estado técnico del compresor

COMPRESOR				
MARCA COMPRESOR: IGNACIO GÓMEZ IHM S.A MARCA MOTOR: SIEMENS		RESPONSABLE DEL MANTENIMIENTO: SR. CARLOS GUAMÁN		
CÓDIGO TÉCNICO:		SIGNIFICADO:		
CÓDIGO ACTIVO FIJO:		SIGNIFICADO:		
MANUALES: Si: _____ No: <u>X</u> CÓDIGO: SIGNIFICADO:	PLANOS: Si: _____ No: <u>X</u> CÓDIGO: SIGNIFICADO:	REPUESTOS: Si: _____ No: <u>X</u> CÓDIGO: SIGNIFICADO:		
ESTADO TÉCNICO		Malo	Regular	Bueno
➤ Estado del anclaje				X
➤ Estado de la carcasa				X
➤ Estado de bandas y poleas			X	
➤ Estado de las redes eléctricas				X
➤ Funcionamiento de los mecanismos			X	
➤ Nivel de ruido y vibración			X	
➤ Estado del tablero de control			X	
➤ Lubricación			X	
CONCLUSIÓN: ESTADO TÉCNICO REGULAR 87.5 %				

Fuente: Autor

Tabla 16. Estado técnico de la bomba de filtrado

BOMBA DE FILTRADO				
MARCA: SIEMENS		RESPONSABLE DEL MANTENIMIENTO: SR. CARLOS GUAMÁN		
CÓDIGO TÉCNICO:		SIGNIFICADO:		
CÓDIGO ACTIVO FIJO:		SIGNIFICADO:		
MANUALES: Si: _____ No: <u>X</u> CÓDIGO: SIGNIFICADO:	PLANOS: Si: _____ No: <u>X</u> CÓDIGO: SIGNIFICADO:	REPUESTOS: Si: _____ No: <u>X</u> CÓDIGO: SIGNIFICADO:		
ESTADO TÉCNICO		Malo	Regular	Bueno
➤ Estado del anclaje		X		
➤ Estado de la carcasa			X	
➤ Estado de los elementos generadores de movimiento				X
➤ Estado de las redes eléctricas			X	
➤ Funcionamiento de los mecanismos				X
➤ Nivel de ruido y vibración			X	
➤ Estado del tablero de control			X	
➤ Lubricación			X	
CONCLUSIÓN: ESTADO TÉCNICO REGULAR 82.5 %				

Fuente: Autor

Tabla 17. Estado técnico de la bomba de purificación

BOMBA DE PURIFICACIÓN				
MARCA: EMERSON		RESPONSABLE DEL MANTENIMIENTO: SR. CARLOS GUAMÁN		
CÓDIGO TÉCNICO:		SIGNIFICADO:		
CÓDIGO ACTIVO FIJO:		SIGNIFICADO:		
MANUALES: Si: _____ No: <u>X</u> CÓDIGO: SIGNIFICADO:	PLANOS: Si: _____ No: <u>X</u> CÓDIGO: SIGNIFICADO:	REPUESTOS: Si: _____ No: <u>X</u> CÓDIGO: SIGNIFICADO:		
ESTADO TÉCNICO		Malo	Regular	Bueno
➤ Estado del anclaje		X		
➤ Estado de la carcasa			X	
➤ Estado de los elementos generadores de movimiento				X
➤ Estado de las redes eléctricas			X	
➤ Funcionamiento de los mecanismos				X
➤ Nivel de ruido y vibración			X	
➤ Estado del tablero de control			X	
➤ Lubricación			X	
CONCLUSIÓN: ESTADO TÉCNICO REGULAR 82.5 %				

Fuente: Autor

3.2 Análisis de la situación actual del mantenimiento empleado

El parque acuático Morete Puyu y en sí el Departamento de Turismo del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Pastaza no disponen de un plan específico de mantenimiento preventivo para los equipos que en dicho establecimiento existen, generalmente lo que se aplica en los mismos son técnicas de mantenimiento correctivo, es decir una reparación o cambio de piezas y elementos de las máquinas cuando éstas sufren algún tipo de fallo, por lo que no se cuenta con un determinado stock de repuestos o equipos en stand by para poder ser remplazados, lo que a creado grandes problemas en diversas ocasiones.

En nuestro caso, además de las reparaciones que se realizan, el mantenimiento preventivo también se encuentra presente de una manera irregular en cada uno de los equipos por parte de los operarios, ejecutando trabajos como inspecciones visuales, cambios de aceite, cambios de mangueras y trabajos de lubricación de una manera no planificada.

Al igual que el plan de mantenimiento, se carece también del historial de averías o registro de fallos que los equipos deben poseer, por lo que resultaría un tanto difícil estudiar o analizar determinados parámetros como por ejemplo aquellos de fiabilidad de los equipos tales como, tiempo de buen funcionamiento, tiempo medio entre fallos, tiempos de reparación, etc., documentos que en sí generaría inconvenientes para realizar una correcta gestión del mantenimiento.

3.2.1 Planificación actual de materiales, repuestos y herramientas para efectuar el mantenimiento. Sin lugar a duda, la existencia de una infraestructura adecuada, herramientas, repuestos y materiales en buen estado son factores determinantes en el servicio y calidad al ejecutar actividades de mantenimiento, pero como ya mencionamos anteriormente, no se cuenta con un stock de repuestos por lo que cuando uno de los equipos en estudio requiere de un cambio de elemento, su parada es indeterminada hasta que se logre conseguir el repuesto.

Las personas encargadas de ejecutar de alguna manera los trabajos de mantenimiento, son los mismos operarios de los equipos, en este caso el personal autorizado de activar y desactivar el funcionamiento de las máquinas, aunque dichos operarios no cuentan con una calificación para realizar este tipo de trabajos, la experiencia que han adquirido con los equipos es lo que les da la confianza y seguridad para poder desempeñar las actividades de mantenimiento de una manera correcta.

3.3 Documentación utilizada en la actualidad

Actualmente los equipos en estudio no poseen ningún tipo de documentación de trabajo, como manuales de operación y planos, tampoco se cuenta con un registro o fichas de mantenimiento preventivo, peor aún con historiales basados en técnicas de mantenimiento predictivo.

3.3.1 Conclusión de la situación actual del mantenimiento. La situación actual del mantenimiento en los equipos del parque acuático Morete Puyu es crítica debido a que no se cuenta con un sinnúmero de factores que hemos nombrado en el transcurso de esta redacción, como una política adecuada de mantenimiento preventivo, historial de averías, stock de repuestos, personal calificado. Detalles que hacen notar la existencia de la falta de coordinación entre el departamento municipal responsable de administrar dicho parque acuático y el personal encargado de operación de los equipos del establecimiento.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS VIBRACIONAL DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS

4.1 Categorización y criticidad de los equipos

Tabla 18. Categorización de equipos

ASPECTOS SELECTIVOS	CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS	EQUIPOS		
			VAP1	VAP2	COM
INTERCAMBIABILIDAD	A	Irreemplazable	X	X	
	B	Reemplazable			X
	C	Intercambiable			
IMPORTANCIA PRODUCTIVA	A	Imprescindible	X	X	X
	B	Limitante			
	C	Convencional			
REGIMEN DE OPERACIÓN	A	Trabaja en un proceso continuo	X	X	X
	B	Trabaja en un proceso seriado			
	C	Trabaja en un proceso alternado			
NIVEL DE UTILIZACIÓN	A	Muy utilizada	X	X	X
	B	Media utilización			
	C	Poca utilización			

Fuente: Autor

PARÁMETROS DIRECTIVOS	CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS	EQUIPOS		
			VAP1	VAP2	COM
PRECISIÓN	A	Alta			
	B	Media	X	X	X
	C	Baja			

MANTENIBILIDAD	A	Alta complejidad	X	X	
	B	Media complejidad			
	C	Simple complejidad			X
CONSERVABILIDAD	A	Máquinas con condiciones especiales			
	B	Máquina protegida	X	X	X
	C	Máquina normal en condiciones severas			
AUTOMATIZACIÓN	A	Automática	X	X	X
	B	Semiautomática			
	C	Máquina totalmente mecánica			
VALOR DE LA MÁQUINA	A	Alto valor	X	X	
	B	Medio valor			X
	C	Bajo valor			
FACILIDAD DE APROVISIONAMIENTO	A	Mala	X	X	
	B	Regular			
	C	Buena			X
SEGURIDAD OCUPACIONAL	A	Máquina peligrosa	X	X	X
	B	Máquina con peligrosidad media			
	C	Máquina poco peligrosa			
RESULTADOS			9A	9A	5A
			2B	2B	4B
			-	-	2C

Fuente: Autor

ASPECTOS SELECTIVOS	CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS	EQUIPOS	
			BOMB1	BOM2
INTERCAMBIABILIDAD	A	Irreemplazable		
	B	Reemplazable	X	X
	C	Intercambiable		

IMPORTANCIA PRODUCTIVA	A	Imprescindible	X	X
	B	Limitante		
	C	Convencional		
REGIMEN DE OPERACIÓN	A	Trabaja en un proceso continuo	X	X
	B	Trabaja en un proceso seriado		
	C	Trabaja en un proceso alternado		
NIVEL DE UTILIZACIÓN	A	Muy utilizada		
	B	Media utilización	X	X
	C	Poca utilización		

Fuente: Autor

PARÁMETROS DIRECTIVOS	CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS	EQUIPOS	
			BOM1	BOM2
PRECISIÓN	A	Alta		
	B	Media	X	X
	C	Baja		
MANTENIBILIDAD	A	Alta complejidad		
	B	Media complejidad		
	C	Simple complejidad	X	X
CONSERVABILIDAD	A	Máquinas con condiciones especiales		
	B	Máquina protegida	X	X
	C	Máquina normal en condiciones severas		
AUTOMATIZACIÓN	A	Automática	X	X
	B	Semiautomática		
	C	Máquina totalmente mecánica		
VALOR DE LA MÁQUINA	A	Alto valor		
	B	Medio valor	X	X
	C	Bajo valor		

FACILIDAD DE APROVISIONAMIENTO	A	Mala		
	B	Regular		
	C	Buena	X	X
SEGURIDAD OCUPACIONAL	A	Máquina peligrosa	X	X
	B	Máquina con peligrosidad media		
	C	Máquina poco peligrosa		
RESULTADOS			4A	4A
			5B	5B
			2C	2C

Fuente: Autor

Tabla 19. Criticidad de equipos

EQUIPOS	RESULTADOS	CATEGORÍA	CRITICIDAD
VAP1	9A	A	Crítico
	2B		
	-		
VAP2	9A	A	Crítico
	2B		
	-		
COM	5A	A	Crítico
	4B		
	2C		
BOM1	4A	B	Semicrítico
	5B		
	2C		
BOM2	4A	B	Semicrítico
	5B		
	2C		

Fuente: Autor

4.1.1 Política de mantenimiento acorde con la categoría de las máquinas. De acuerdo a lo desarrollado en cada uno de los equipos, es importante resaltar que tres de las cinco máquinas en estudio fueron consideradas como críticas por cada uno de sus aspectos y parámetros evaluados y es aconsejable implementar una política de mantenimiento acorde con su clasificación correspondiente, entonces tenemos que para los equipos que se encuentran dentro de la categoría A y B se recomienda realizar lo siguiente:

A: Lograr la máxima disponibilidad, para lo cual recomendamos lo siguiente:

- Aplicar un sistema de mantenimiento predictivo basado en técnicas de ultrasonido, análisis de vibraciones, análisis de aceite, termografía, etc., sin escatimar costos.
- Emplear un sistema de mantenimiento preventivo planificado.
- Realizar tareas de mantenimiento correctivo en el caso de reparaciones imprevistas.

B: Reducir los costos de mantenimiento sin que ello perjudique la disponibilidad de la maquinaria, para lo cual recomendamos realizar lo siguiente:

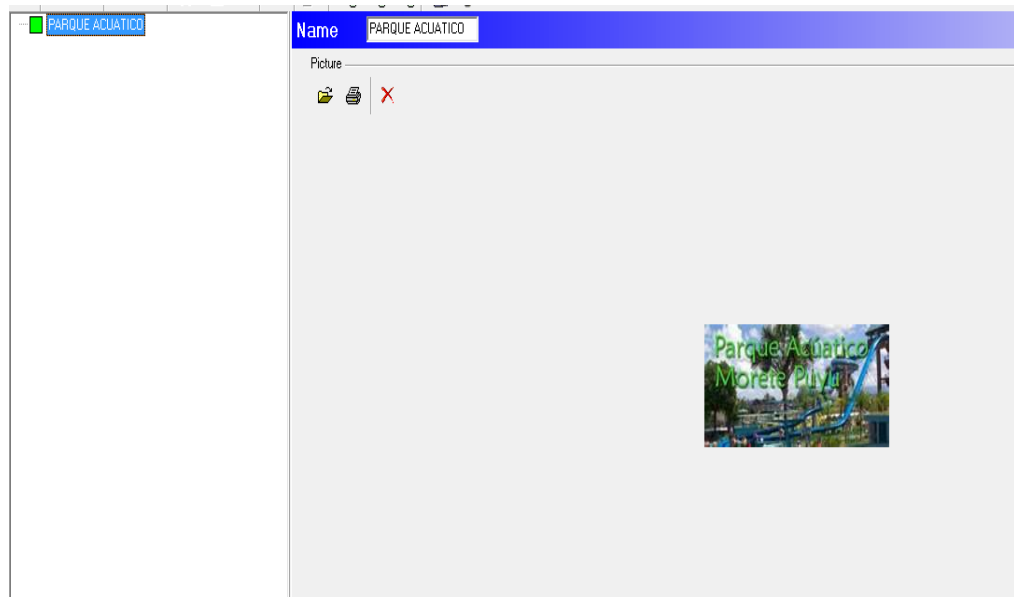
- Utilizar un sistema de mantenimiento predictivo solamente en caso que sea necesario.
- Emplear un sistema de mantenimiento preventivo planificado.
- Realizar tareas de mantenimiento correctivo en el caso de reparaciones imprevistas.

4.2 Configuración de las rutas de medición

Para la medición de los equipos fue conveniente seguir una ruta ordenada de monitoreo, por lo que a continuación se detalla la forma en que se realizó la misma:

- Primero ubicamos el nombre de la empresa o entidad a la cual pertenecen los equipos y por ende el lugar donde se está ejecutando el trabajo, que en nuestro caso es PARQUE ACUÁTICO.

Figura 33. Parque acuático Morete Puyu



Fuente: “Parque acuático Morete Puyu”

- Luego creamos un subítem para ubicar el nombre del área a la que pertenecen los equipos a monitorear y en este caso es CUARTO DE MÁQUINAS.

Figura 34. Cuarto de máquinas



Fuente: “Parque acuático Morete Puyu”

- A continuación creamos varios subítems en los que irán los nombres de los equipos pertenecientes a dicha área y que serán monitoreados, los mismos que en nuestro caso son:

Figura 35. Ventilador de alta presión 1



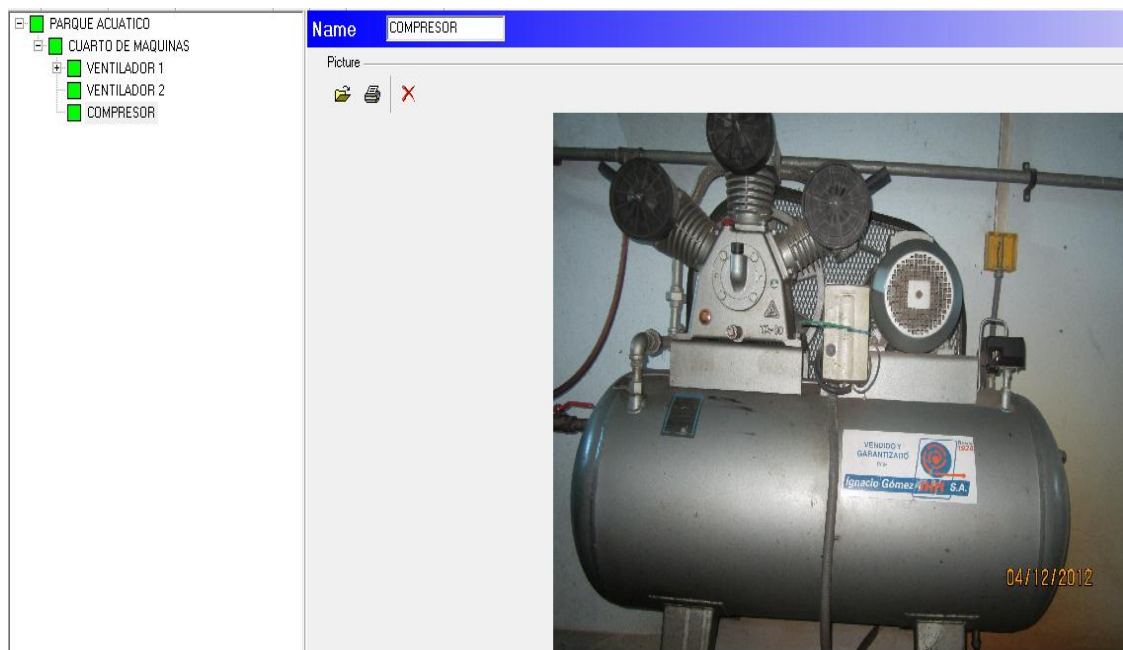
Fuente: “Parque acuático Morete Puyu”

Figura 36. Ventilador de alta presión 2



Fuente: “Parque acuático Morete Puyu”

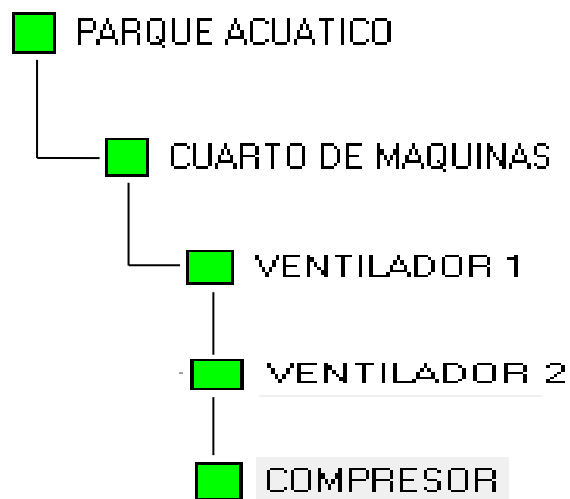
Figura 37. Compresor



Fuente: “Parque acuático Morete Puyu”

De tal manera que una vez cumplido con estos pasos tendremos una ruta de medición tal como se presenta en la siguiente figura.

Figura 38. Rutas de medición



Fuente: Autor

En cada uno de los equipos una vez que hemos establecido los diferentes puntos y sentidos de medición, procedemos a definir los parámetros que se van a analizar, y éstos son:

- La norma que se va a utilizar que para nuestro caso es la norma ISO 10816
- La velocidad
- Temperatura

4.3 Determinación de las frecuencias de monitoreo

La paralización de los equipos encargados de la generación de olas artificiales del parque acuático Morete Puyu afectan directamente a la economía del mismo por ser equipos de alta criticidad que están sometidos a condiciones de operación severo, es por este motivo y basándonos en frecuencias de monitoreo anteriormente recomendadas para análisis de vibraciones, donde concluimos que las máquinas en estudio por ser equipos vitales sin respaldo, se les asignó una frecuencia de monitoreo de quince días con el fin de prevenir y predecir algún tipo de fallo y junto con ello pérdidas económicas.

Es importante mencionar que toda máquina a medida que se incremente sus horas de operación, será necesario reducir los intervalos de monitoreo hasta su reparación, evitando con ello la falla en el equipo. Lo importante en este caso, es que se lleve un control estricto de cada falla, una vez encontrada determinar sus posibles causas para mediante esto poder aplicar algún medio correctivo.

.

4.4 Elaboración de fichas técnicas de monitoreo

Tabla 20. Datos y diagrama de ubicación de los puntos de medición del ventilador de alta presión 1

VENTILADOR ALTA PRESIÓN 1	
TIPO DE SISTEMA RÍGIDO: <u>X</u> AMORTIGUADO: ____	UNIDADES DE VELOCIDAD VdB: ____ mm / s: <u>X</u>
EQUIPO DE MEDICIÓN: AZIMA DLI	RESPONSABLE: FAUSTO SANDOVAL
DATOS DE REFERENCIA	
MARCA: EDOSPINA	MODELO: TURBINA
DIÁMETRO: 1200 mm	LONGITUD: 1350 mm
HP: 75.0	RPM: 3570
PESO OPERACIÓN: 1200 Kg	TOLERANCIA CORROSIÓN: 1.59 mm
UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN	
	

Fuente: Autor

Tabla 21. Datos y diagrama de ubicación de los puntos de medición del ventilador de alta presión 2

VENTILADOR ALTA PRESIÓN 2	
TIPO DE SISTEMA RÍGIDO: <u>X</u> AMORTIGUADO: <u> </u>	UNIDADES DE VELOCIDAD VdB: <u> </u> mm / s: <u>X</u>
EQUIPO DE MEDICIÓN: AZIMA DLI	RESPONSABLE: FAUSTO SANDOVAL
DATOS DE REFERENCIA	
MARCA: EDOSPINA	MODELO: TURBINA
DIÁMETRO: 1200 mm	LONGITUD: 1350 mm
HP: 75.0	RPM: 3570
PESO OPERACIÓN: 1200 Kg	TOLERANCIA CORROSIÓN: 1.59 mm
UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN	
	

Fuente: Autor

Tabla 22. Datos y diagrama de ubicación de los puntos de medición del compresor

COMPRESOR	
TIPO DE SISTEMA RÍGIDO: <u> X </u> AMORTIGUADO: <u> </u>	UNIDADES DE VELOCIDAD VdB: <u> </u> mm / s: <u> X </u>
EQUIPO DE MEDICIÓN: AZIMA DLI	RESPONSABLE: FAUSTO SANDOVAL
DATOS DE REFERENCIA	
MARCA: Ignacio Gómez IHM S.A	MODELO: TA80 - 6T - 60
HP: 66.0	RPM MAX: 900
UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN	
	



Fuente: Autor

4.5 Análisis vibracional de los equipos

4.5.1 Punto VAP11RAT

Figura 39. Punto VAP11RAT



Fuente: Autor

|4.5.2 *Punto VAP12RAT*

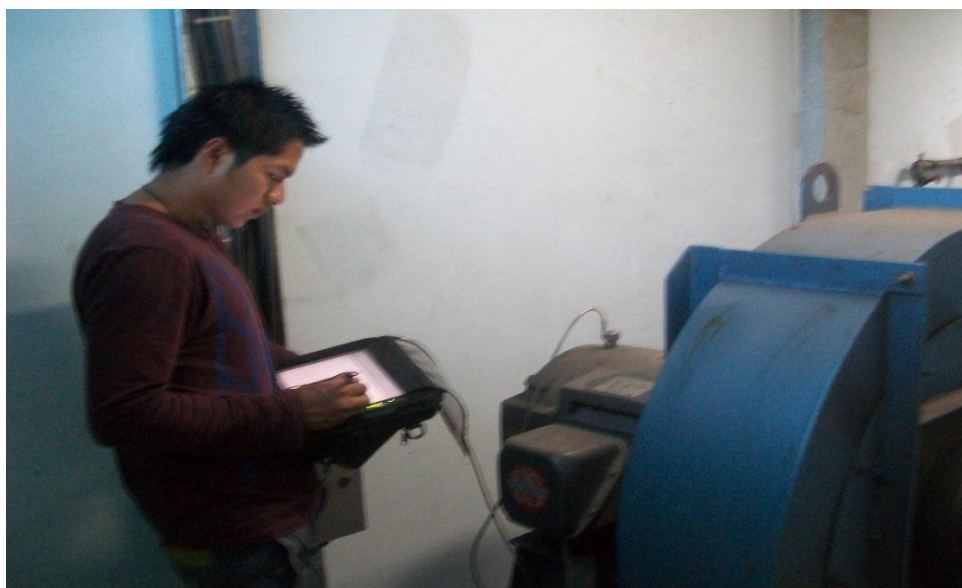
Figura 40. Punto VAP12RAT



Fuente: Autor

4.5.3 *Punto VAP21RAT*

Figura 41. Punto VAP21RAT



Fuente: Autor

4.5.4 *Punto VAP22RAT*

Figura 42. Punto VAP22RAT



Fuente: Autor

4.5.5 *Punto C1RAT*

Figura 43. Punto C1RAT



Fuente: Autor

4.5.6 Punto C2RAT

Figura 44. Punto C2RAT



Fuente: Autor

CAPÍTULO V

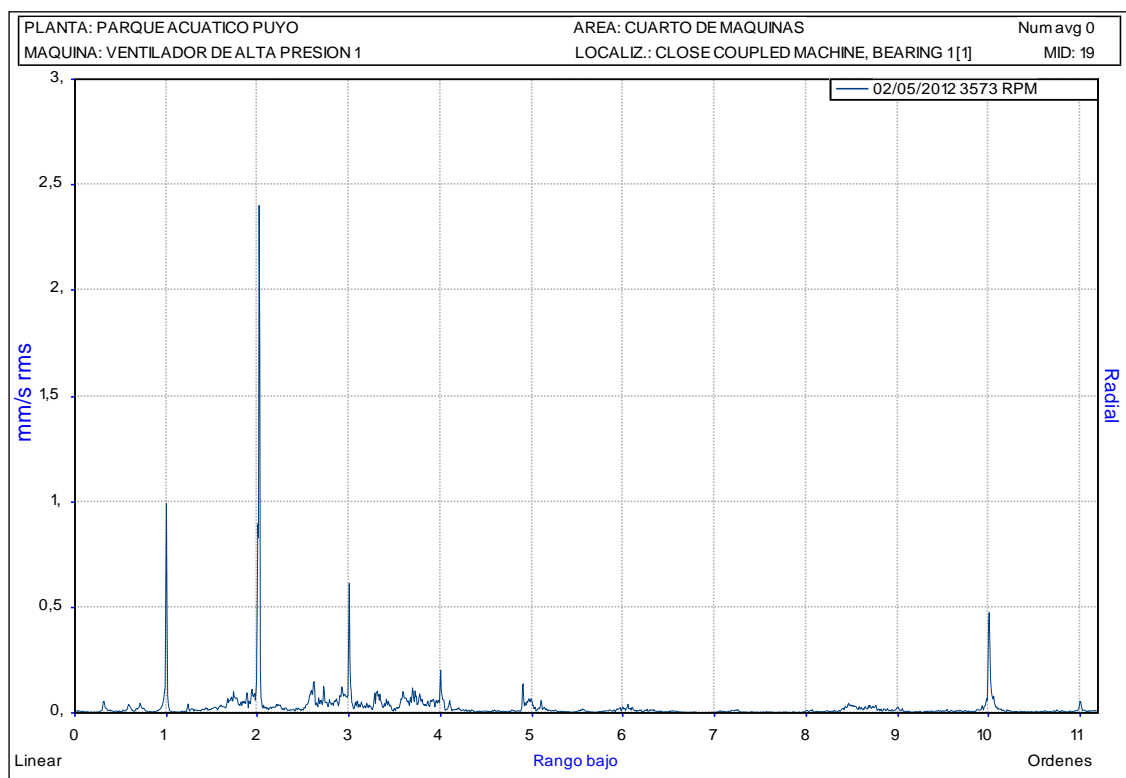
5. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

5.1 Interpretación de los espectros vibracionales obtenidos

5.1.2 Espectros obtenidos en el ventilador de alta presión 1

5.1.2.1 Espectro obtenido en el punto VAP11R

Figura 45. Espectro obtenido en el punto VAP11R



Fuente: EQUIPO DCX

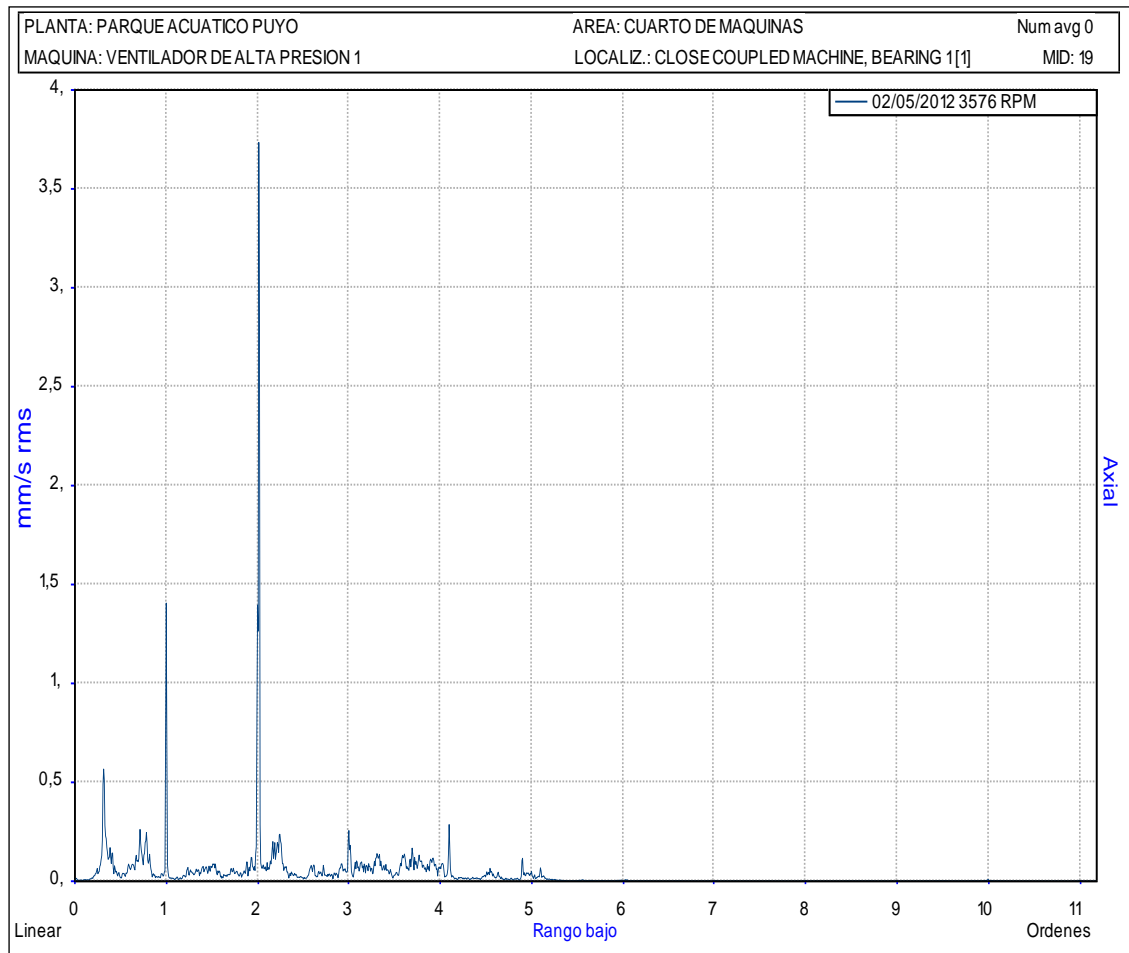
ANÁLISIS:

- El espectro nos muestra un pico de 2.4 mm/s en 2X Radial, el mismo que se encuentra dentro de los límites permisibles y nos indica un nivel de pre alarma

según la norma ISO 10816.

5.1.2.2 Espectro obtenido en el punto VAP11A

Figura 46. Espectro obtenido en el punto VAP11A



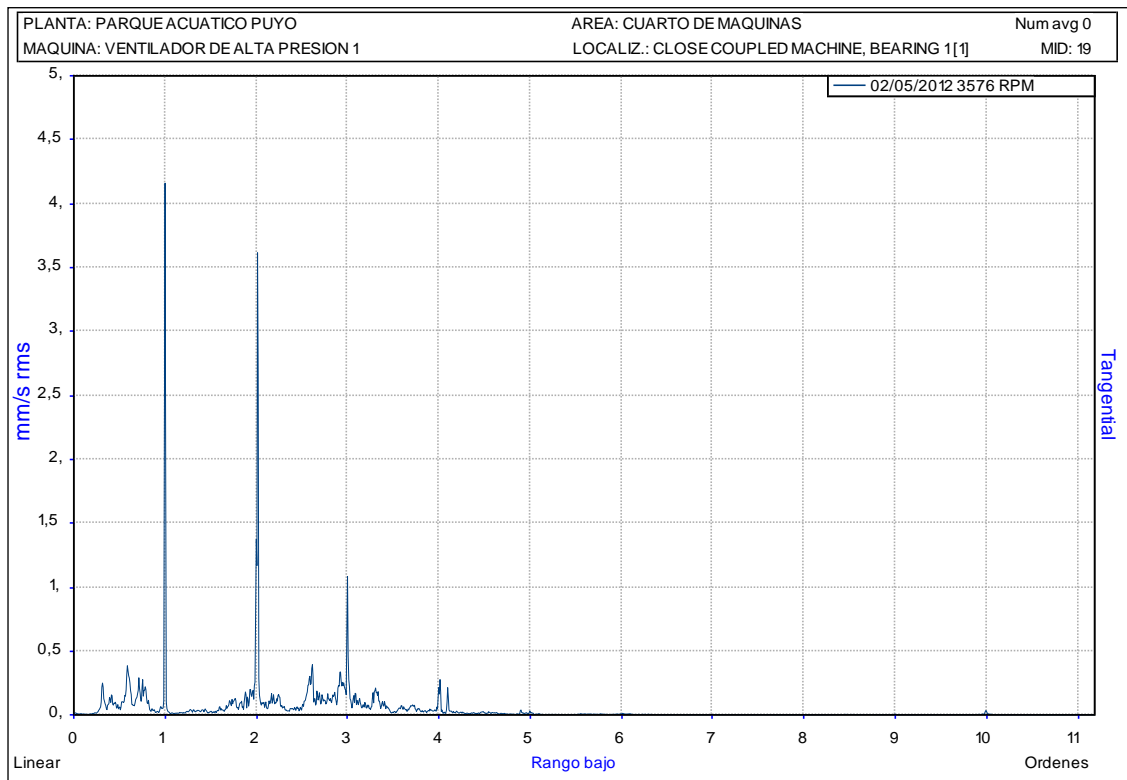
Fuente: EQUIPO DCX

ANÁLISIS:

- El espectro nos indica un valor pico de 1.4 mm/s en 1X Axial, el cual se encuentra dentro del rango aceptable.
- Un pico de 3.73 mm/s en 2X Axial, el mismo que también se encuentra dentro de los límites permisibles pero nos indica un nivel de pre alarma según la norma ISO 10816.

5.1.2.3 Espectro obtenido en el punto VAP11T

Figura 47. Espectro obtenido en el punto VAP11T



Fuente: EQUIPO DCX

ANÁLISIS:

- El espectro nos muestra un valor pico de 4.2 mm/s en 1X Tangencial, el cual nos indica que la máquina está a poco tiempo de presentar un problema.
- Un pico de 3.6 mm/s en 2X Tangencial, el mismo que se encuentra dentro de los límites permisibles pero nos indica un nivel de pre alarma según la norma ISO 10816.

DIAGNÓSTICO:

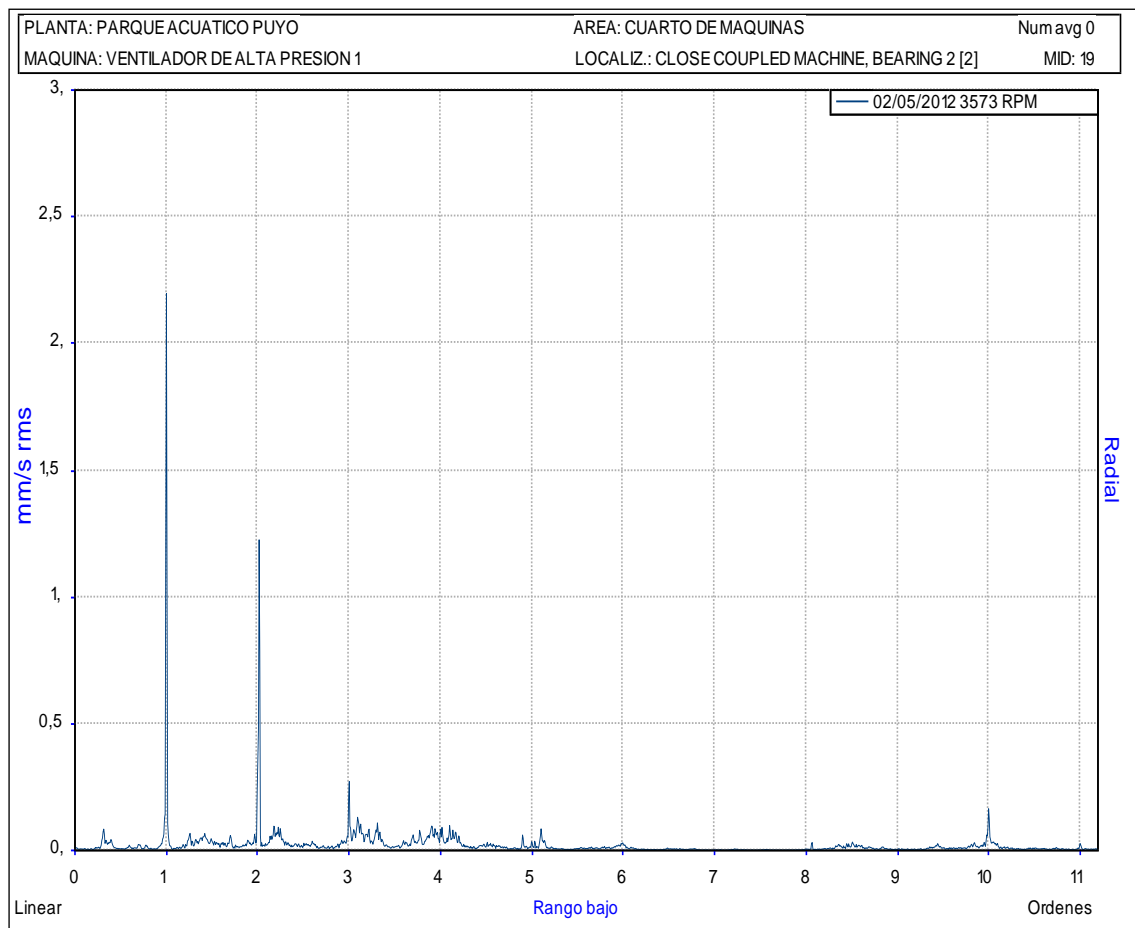
Una vez realizada la interpretación de cada uno de los espectros del punto 1 del

ventilador 1, se llegó a determinar los problemas con los que cuenta el mismo, y éstos son:

- Aún la maquina no presenta un determinado problema, pero a futuro la amplitud de los picos se incrementará y tendremos un problema de **desalineación combinada** debido a que tenemos picos elevados en los armónicos 1X y 2X en los tres sentidos.

5.1.2.4 Espectro obtenido en el punto VAP12R

Figura 48. Espectro obtenido en el punto VAP12R



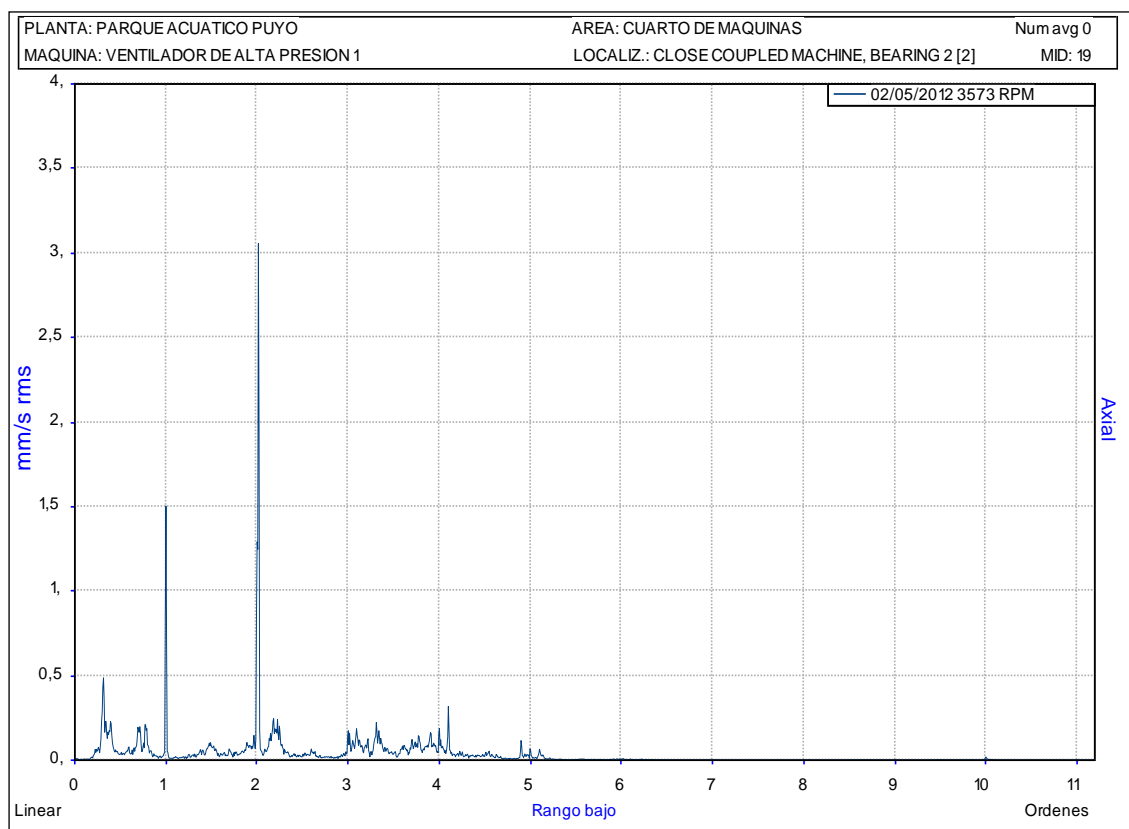
Fuente: EQUIPO DCX

ANÁLISIS:

- El espectro nos muestra un valor pico de 2.2 mm/s en 1X Radial, el mismo que se encuentra dentro de los límites vibracionales aceptables, pero a la vez nos indica una señal de pre alarma.
- Un pico de 1.2 mm/s en 2X Radial, el cual se encuentra dentro de los límites permisibles según la norma ISO 10816.

5.1.2.5 Espectro obtenido en el punto VAPI2A

Figura 49. Espectro obtenido en el punto VAPI2A



Fuente: EQUIPO DCX

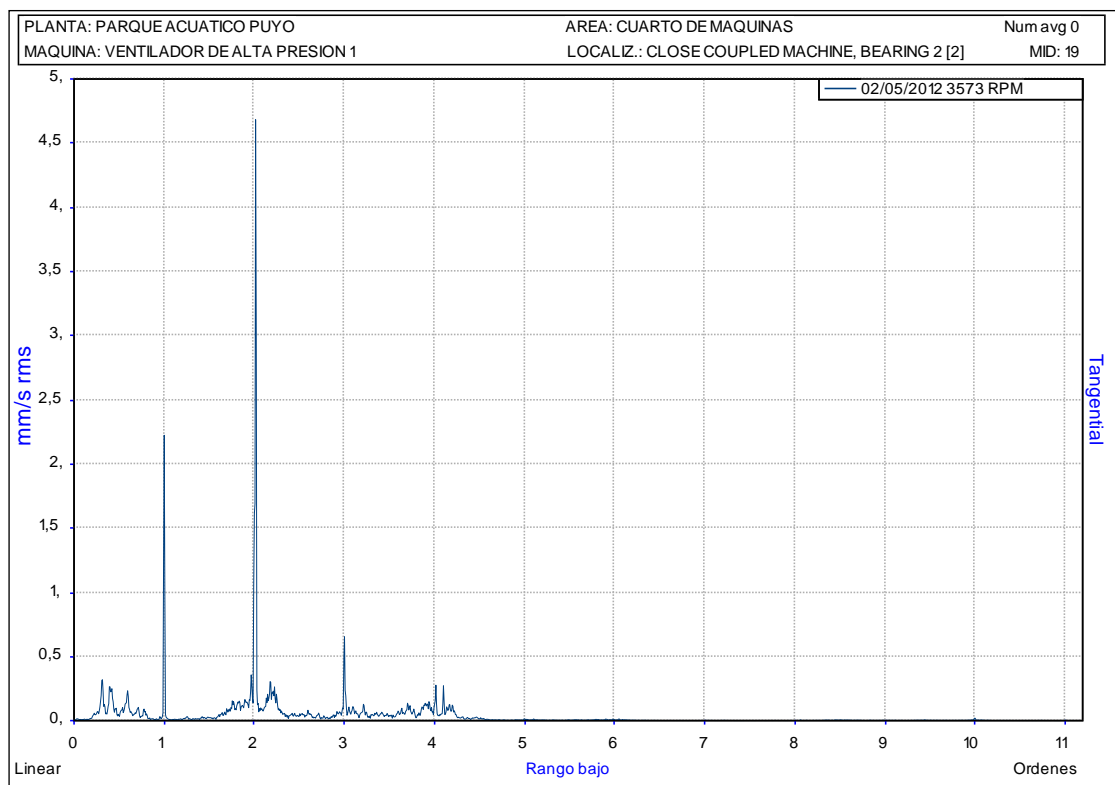
ANÁLISIS:

- El espectro nos muestra un valor pico de 1.5 mm/s en 1X Axial, el cual es muy bajo y por ende aceptable de acuerdo a la norma.

- El armónico 2X Axial presenta un valor de 3.1 mm/s, el mismo que se encuentra dentro de los límites permisibles y a la vez nos indica un nivel de pre alarma según la norma ISO 10816.

5.1.2.6 Espectro obtenido en el punto VAP12T

Figura 50. Espectro obtenido en el punto VAP12T



Fuente: EQUIPO DCX

ANÁLISIS:

- El espectro nos muestra un pico de 2.2 mm/s en 1X Tangencial el cual se encuentra dentro de los límites permisibles y a la vez nos indica una señal de pre alarma.
- Un pico de 4.7 mm/s en 2X Tangencial, el mismo que nos indica que la máquina presenta un problema según la norma ISO 10816.

DIAGNÓSTICO:

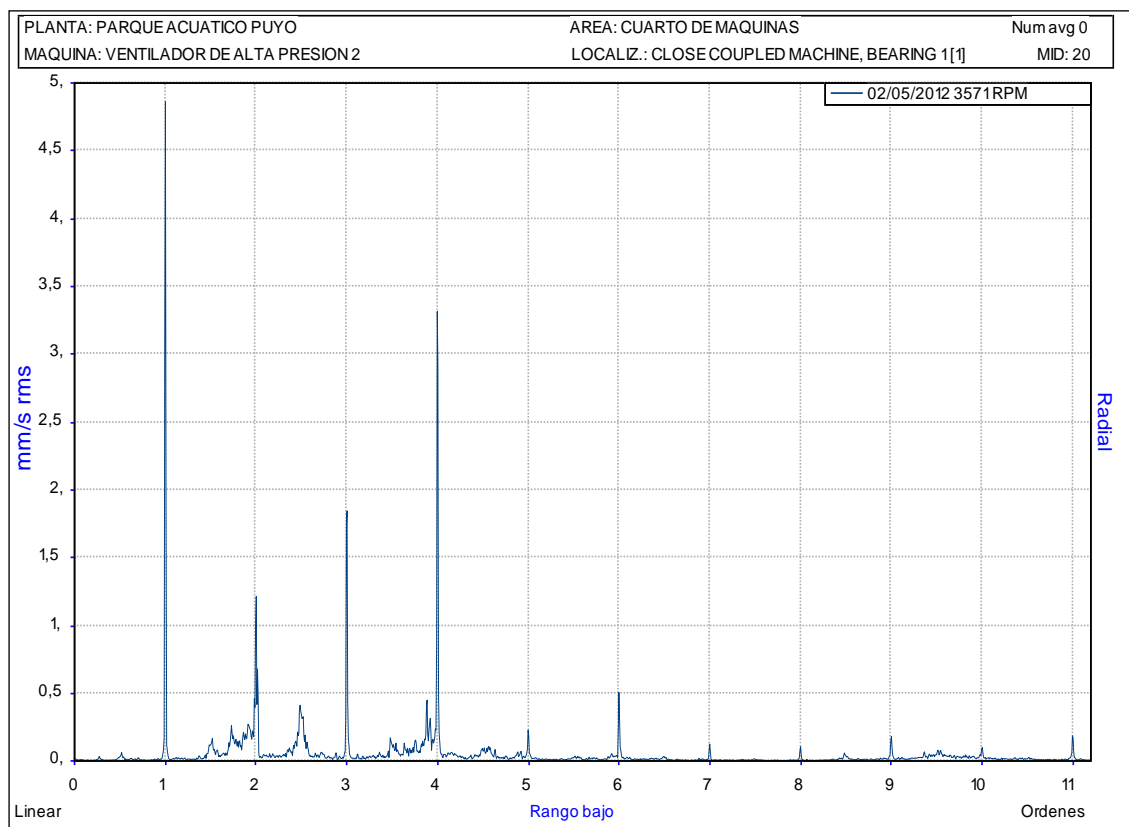
Una vez realizada la interpretación de cada uno de los espectros obtenidos del punto 2 del ventilador de alta presión 1, se llegó a determinar los problemas con los que cuenta el mismo, y éstos son:

- La máquina presenta un problema de **desalineación combinada** debido a que el valor del armónico 2X Tangencial es muy elevado y está acompañado de un pico 1X en dicho sentido.

5.1.3 Espectros obtenidos en el ventilador de alta presión 2

5.1.3.1 Espectro obtenido en el punto VAP21R

Figura 51. Espectro obtenido en el punto VAP21R



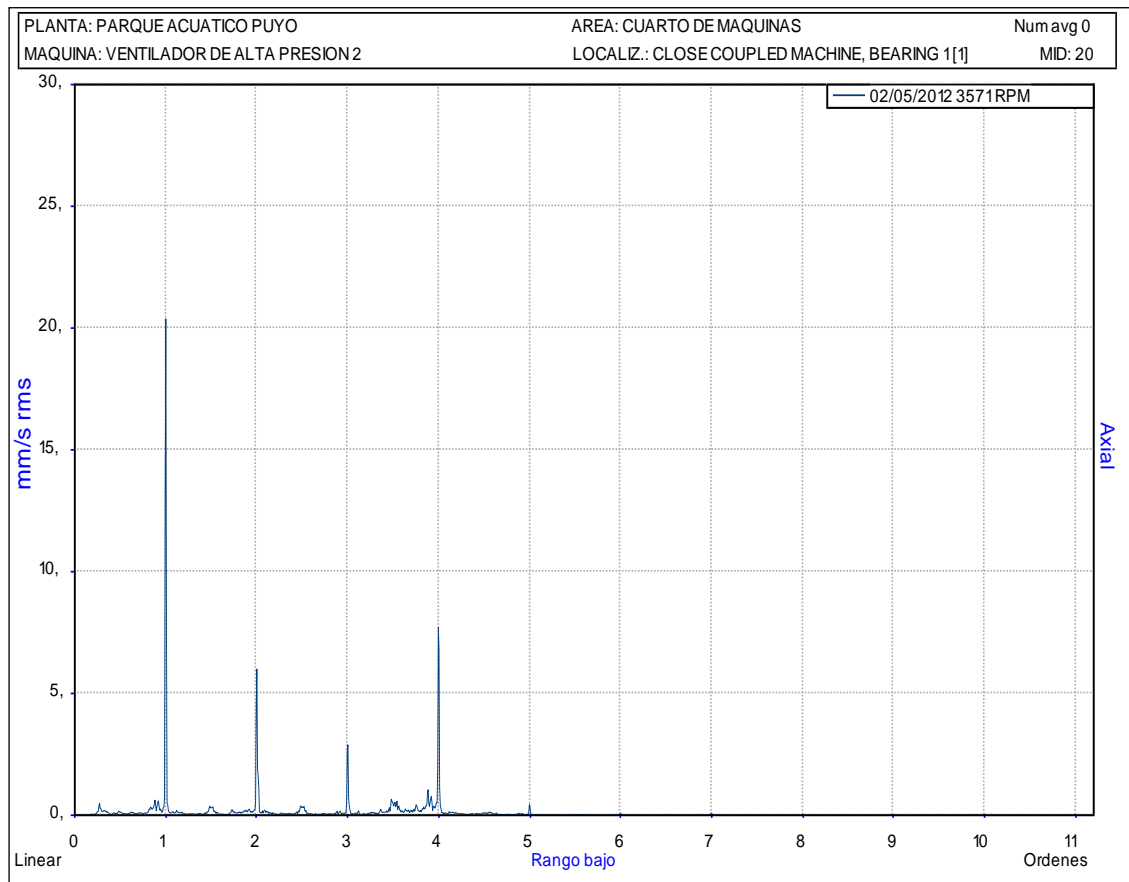
Fuente: EQUIPO DCX

ANÁLISIS:

- El espectro nos indica un valor pico de 4.9 mm/s en 1X Radial, el mismo que refleja la presencia de un problema según la norma ISO 10816.
- Además tenemos un pico de 3.3 mm/s en 4X Radial, el cual se encuentra dentro de los límites aceptables y a la vez nos entrega una señal de alarma.

5.1.3.2 Espectro obtenido en el punto VAP21A

Figura 52. Espectro obtenido en el punto VAP21A



Fuente: EQUIPO DCX

ANÁLISIS:

El espectro presenta varios picos elevados, los cuales se detallan a continuación:

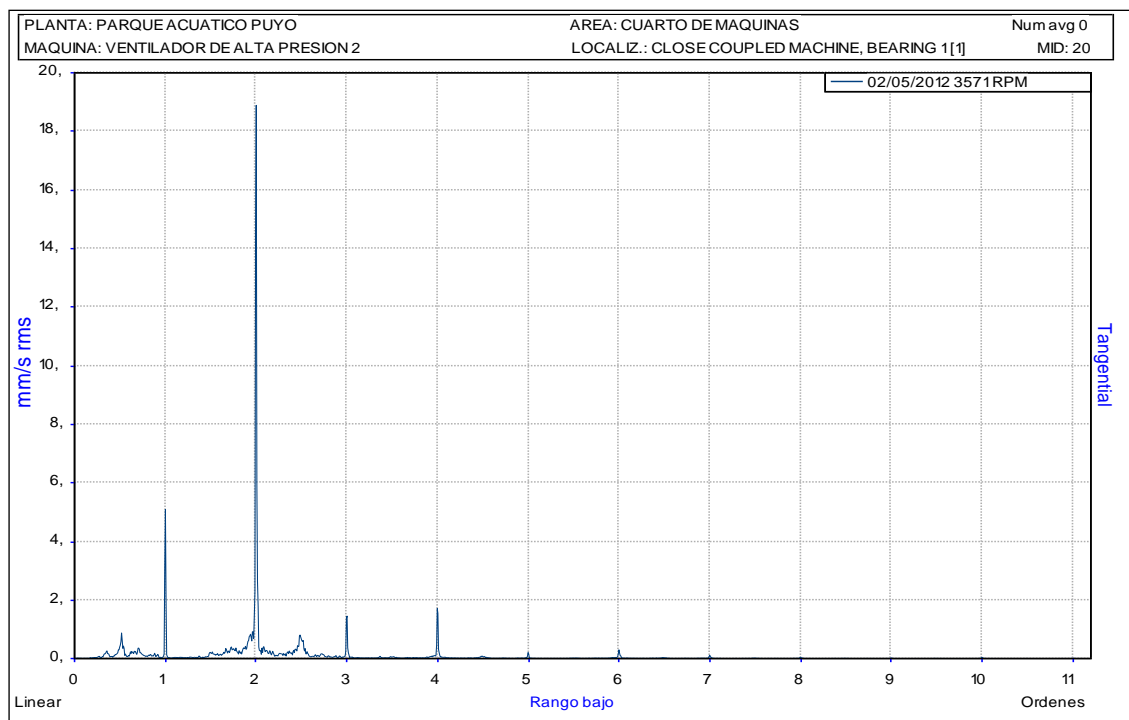
- En el armónico 1X Axial obtenemos un valor pico de 20 mm/s.
- En 2X Axial un pico de 6.0 mm/s

- En 3X Axial Un pico de 2.9 mm/s, y
- En 4X Axial un pico de 7.7 mm/s.

Los mismos que nos indican que la máquina presenta severos problemas según la norma ISO 10816, a excepción del armónico 3X Axial que nos indica una señal de pre alarma.

5.1.3.3 Espectro obtenido en el punto VAP21T

Figura 53. Espectro obtenido en el punto VAP21T



Fuente: EQUIPO DCX

ANÁLISIS:

- El espectro nos indica un pico de 5.1 mm/s en 1X Tangencial.
- Un pico de 19.0 mm/s en 2X Tangencial.

Los mismos que son muy elevados y reflejan que la máquina presenta severos problemas según la norma ISO 10816.

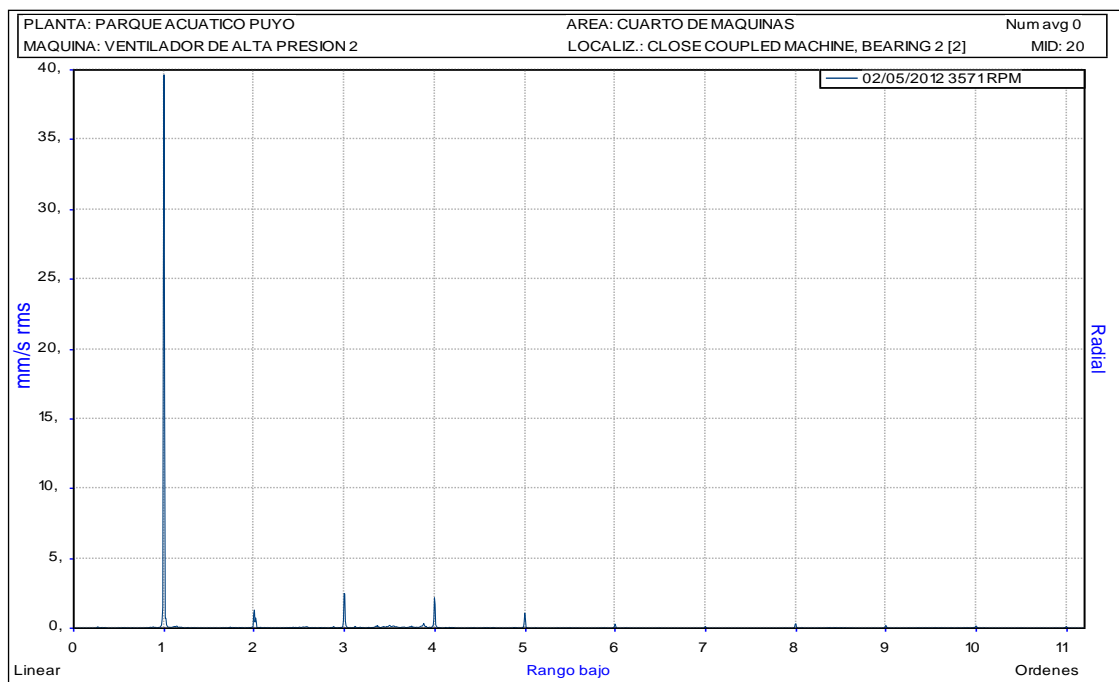
DIAGNÓSTICO:

Una vez realizada la interpretación de cada uno de los espectros obtenidos en el punto 1 del ventilador de alta presión 2, se llegó a determinar los problemas con los que cuenta el mismo, y éstos son:

- La máquina presenta un problema de **desalineación combinada** debido a que los picos en 1X y 2X se encuentran fuera de los límites admisibles en los sentidos Axial y Tangencial.
- Además presenta un problema de **holgura mecánica** debido a que tenemos picos elevados a partir de 3X en el sentido Axial.

5.1.3.4 Espectro obtenido en el punto VAP22R

Figura 54. Espectro obtenido en el punto VAP22R



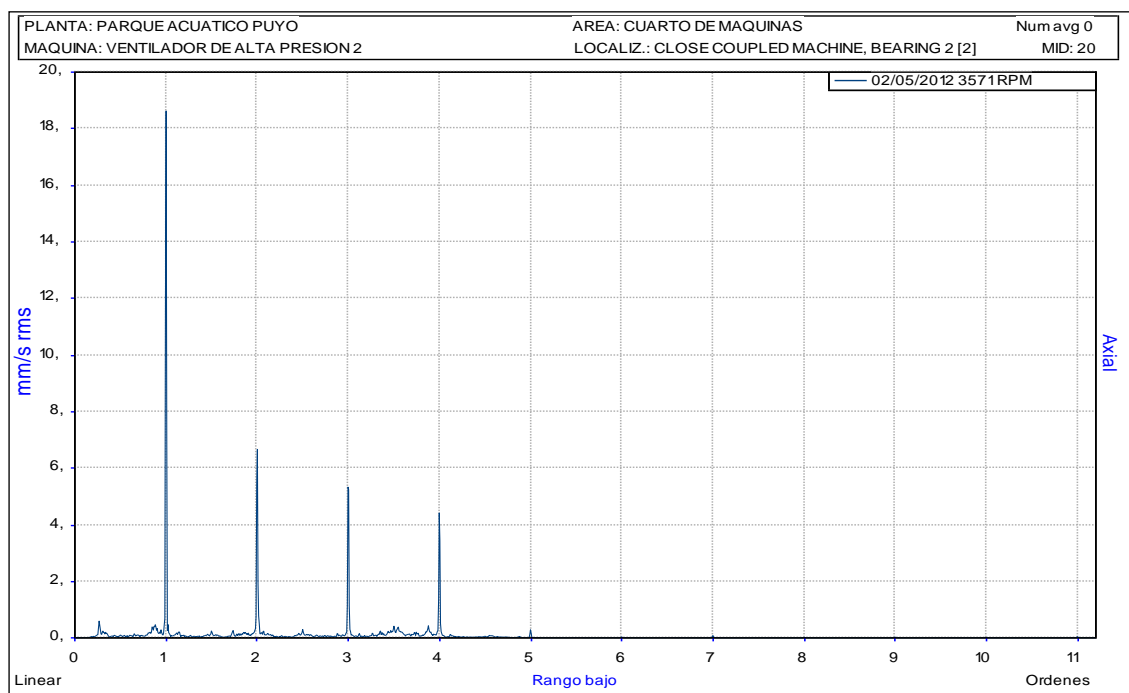
Fuente: EQUIPO DCX

ANÁLISIS:

- El espectro nos muestra un valor pico muy elevado de 40.0 mm/s en 1X Radial, el cual nos confirma la presencia de un severo problema en el equipo.
- Un pico de 2.5 mm/s en 3X Radial el mismo que nos da una señal de pre alarma según la norma.
- Un pico de 2.2 mm/s en 4X Radial, el cual se encuentra dentro de los límites permisibles según la norma ISO 10816.

5.1.3.5 Espectro obtenido en el punto VAP22A

Figura 55. Espectro obtenido en el punto VAP22A



Fuente: EQUIPO DCX

ANÁLISIS:

El espectro nos arroja valores picos elevados en varios armónicos que a continuación detallamos:

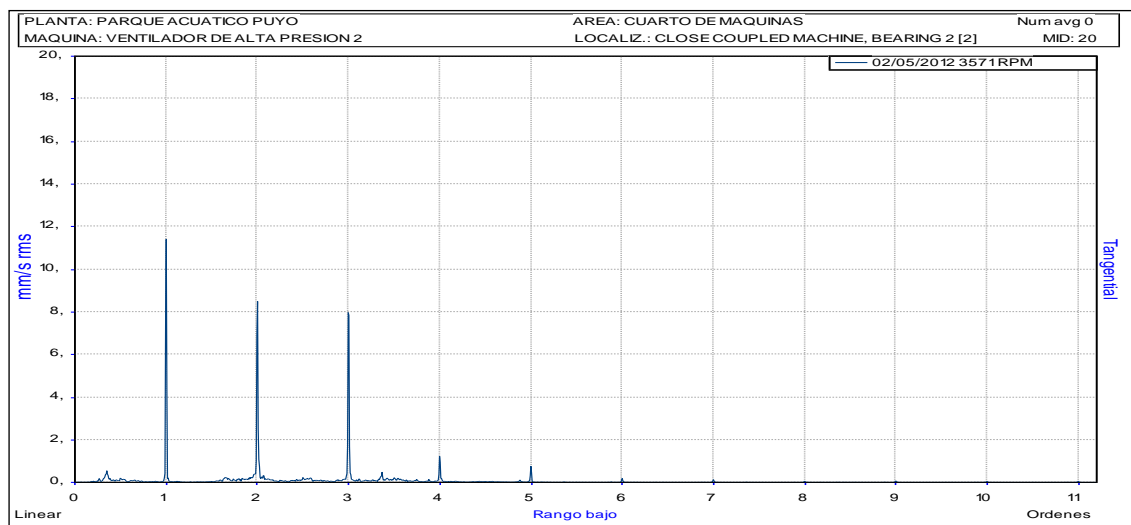
- En 1X Axial tenemos un valor de 19.0 mm/s
- En 2X Axial un pico de 6.7 mm/s.

- En 3X Axial un pico de 5.3 mm/s, y
- En 4X Axial un pico de 4.4 mm/s.

Los mismos que se encuentran fuera de los límites admisibles y a la vez reflejan la existencia de problemas en el equipo de acuerdo a la norma ISO 10816.

5.1.3.6 Espectro obtenido en el punto VAP22T

Figura 56. Espectro obtenido en el punto VAP22T



Fuente: EQUIPO DCX

ANÁLISIS:

- El espectro nos indica un pico de 11.0 mm/s en 1X Tangencial.
- Un pico de 8.5 mm/s en 2X Tangencial.
- Y un pico de 8.0 mm/s en 3X Tangencial.

Los cuales nos indican que la máquina presenta serios problemas de acuerdo a la norma ISO 10816.

DIAGNÓSTICO:

Una vez realizada la interpretación de cada uno de los espectros obtenidos en el punto 2

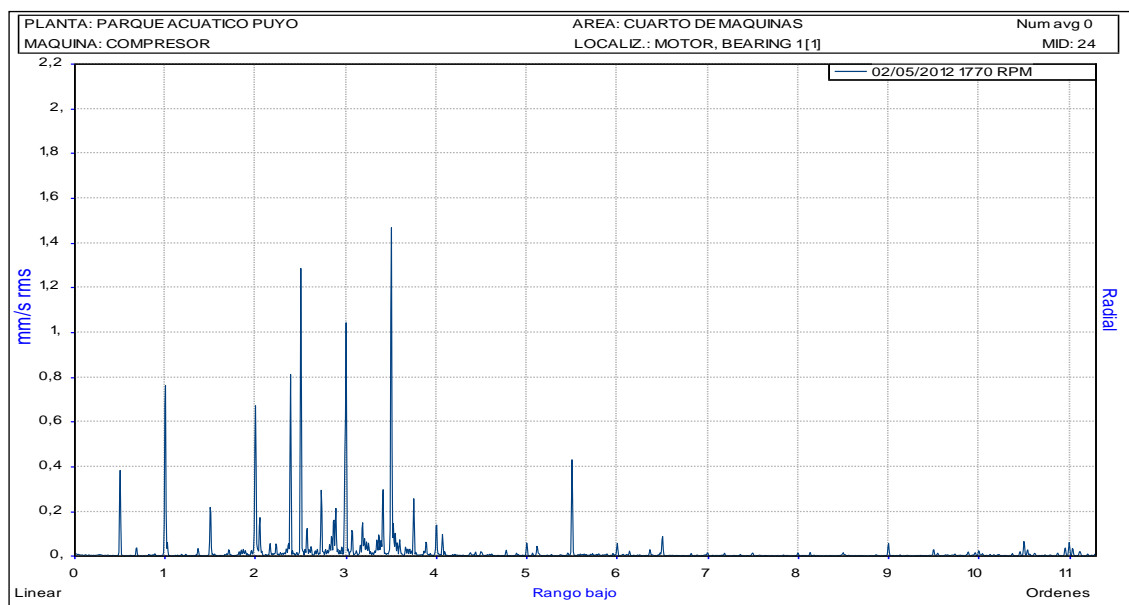
del ventilador de alta presión 2, se llegó a determinar los problemas con los que cuenta el mismo, y éstos son:

- El equipo presenta un problema de **desbalanceo extremo del ventilador** debido a que el armónico 1X Radial tiene una amplitud muy alta.
- Además existe un problema de **desalineación combinada** debido a que los picos de los armónicos 1X y 2X se encuentran fuera de los niveles aceptables de vibración en los sentidos Axial y Tangencial.
- Por último se logró determinar la existencia de un problema de **holgura mecánica** debido a que tenemos picos fuera del rango permisible a partir del armónico 3X en los sentidos Axial y Tangencial.

5.1.4 Espectros obtenidos en el compresor

5.1.4.1 Espectro obtenido en el punto C1R

Figura 57. Espectro obtenido en el punto C1R



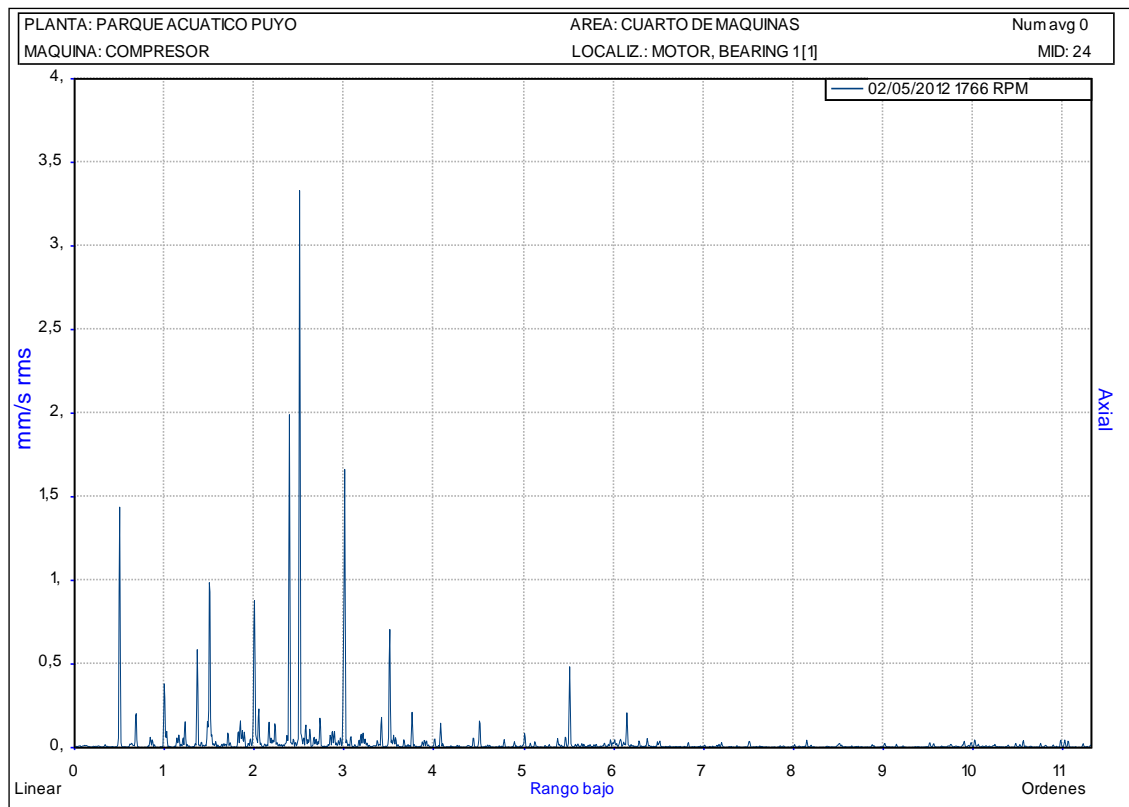
Fuente: EQUIPO DCX

ANÁLISIS:

- No existen picos altos y los valores encontrados son admisibles según la norma ISO 10816, ya que el valor pico más alto es de 1.5 mm/seg en 3.5X Radial.

5.1.4.2 Espectro obtenido en el punto C1A

Figura 58. Espectro obtenido en el punto C1A



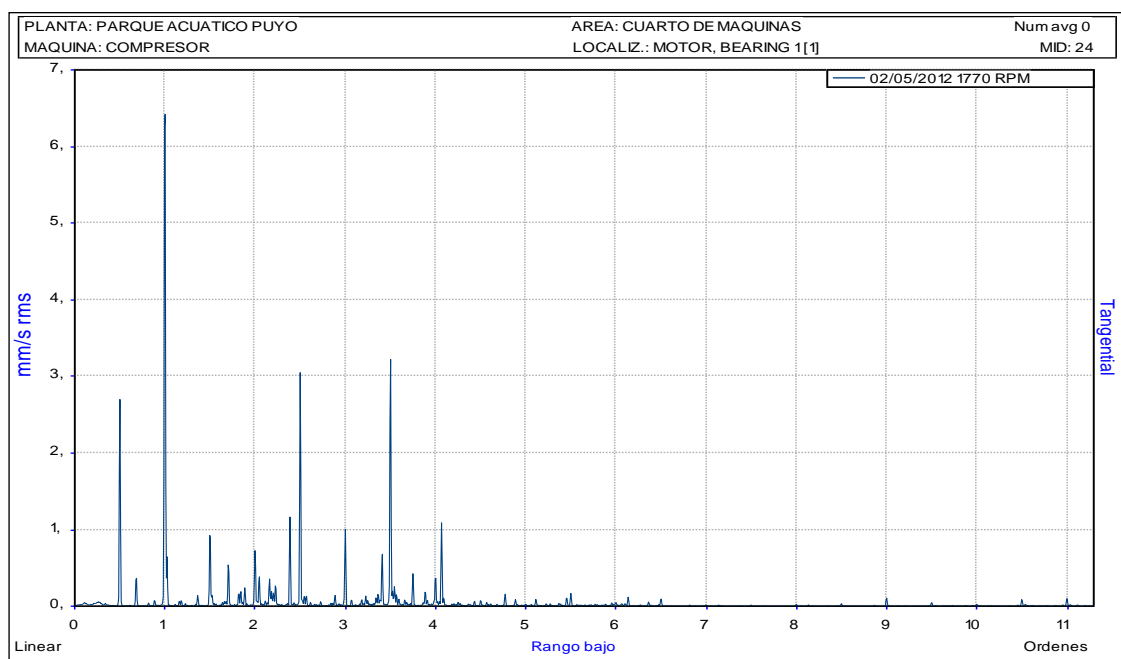
Fuente: EQUIPO DCX

ANÁLISIS:

- El espectro nos muestra un pico de 3.3 mm/s en 2.5X Axial, el mismo que se encuentra dentro de los valores permisibles y a la vez nos indica una señal de alarma según la norma ISO 10816.

5.1.4.3 Espectro obtenido en el punto C1T

Figura 59. Espectro obtenido en el punto C1T



Fuente: EQUIPO DCX

ANÁLISIS:

- El espectro nos muestra un pico de 6.4 mm/s en 1X Tangencial, el cual nos indica que la máquina presenta un problema.
- Un pico de 3.0 mm/s en 2.5X Tangencial.
- Un pico de 3.2 mm/s en 3.5X Tangencial.

Los mismos que son tolerables, pero a la vez nos indican un nivel de alarma según la norma ISO 10816.

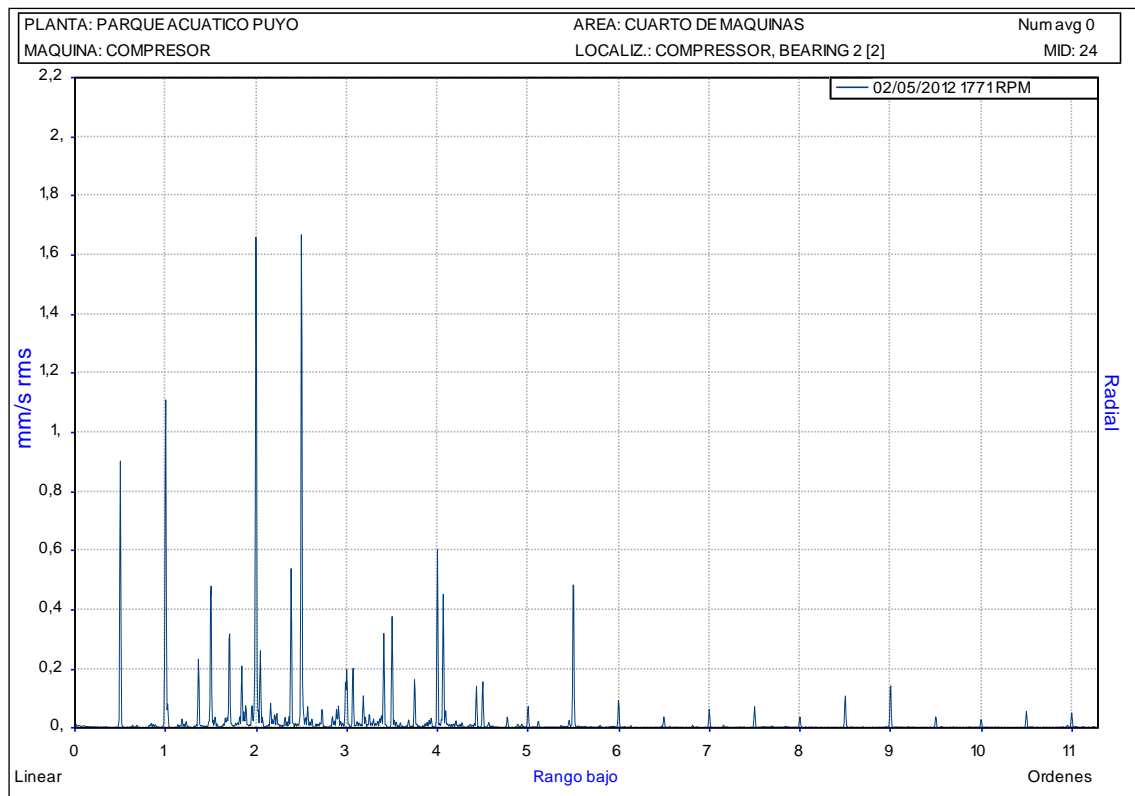
DIAGNÓSTICO:

Una vez realizada la interpretación de cada uno de los espectros obtenidos en el punto 1 del compresor, se llegó a determinar los problemas con los que cuenta el mismo, y éstos son:

- A futuro los valores pico de los armónicos 2.5X y 3.5X Tangencial que son picos síncronos en 0.5X pueden aumentar su amplitud y generarán un problema de **holgura extrema**.

5.1.4.4 Espectro obtenido en el punto C2R

Figura 60. Espectro obtenido en el punto C2R



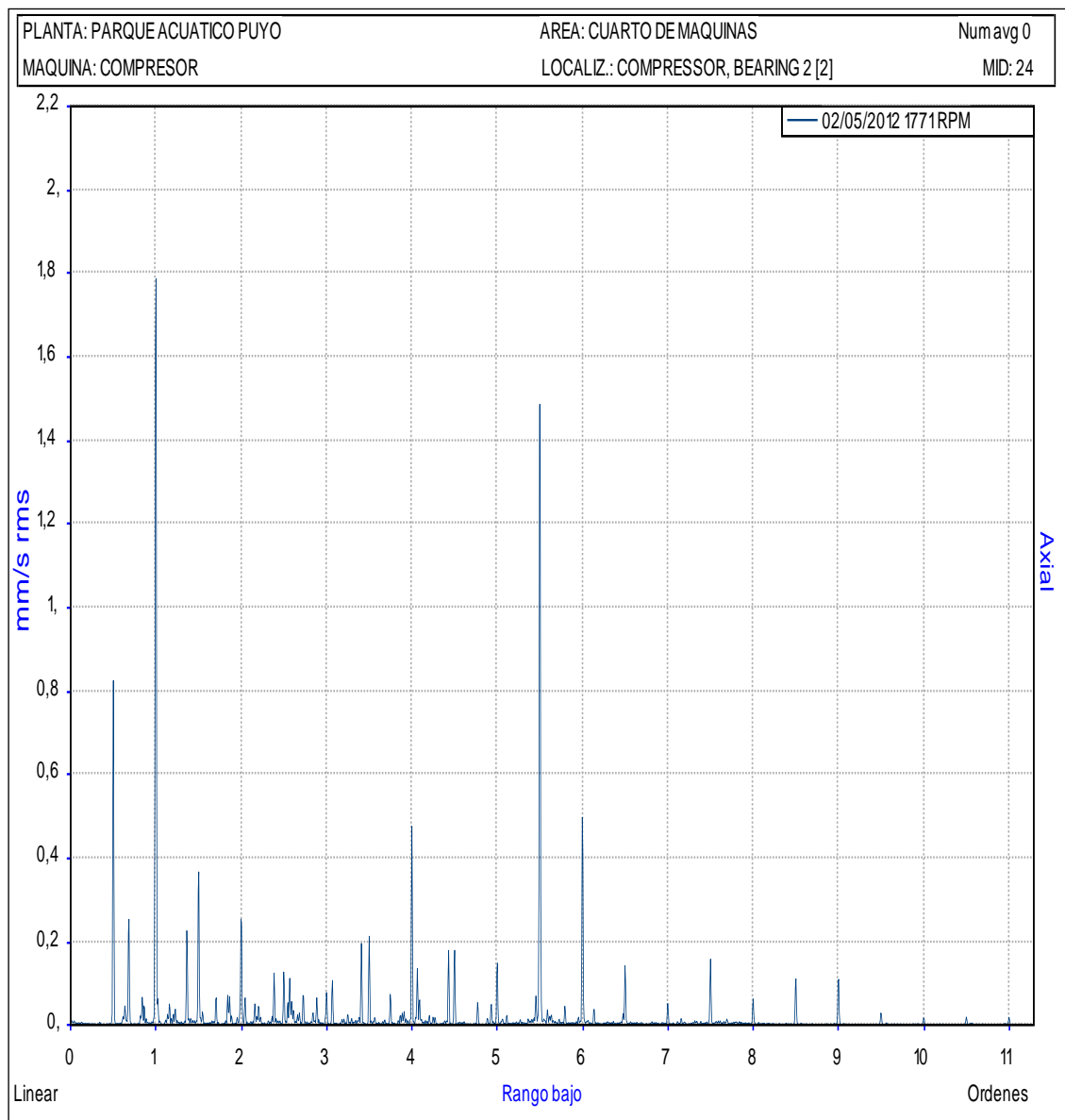
Fuente: EQUIPO DCX

ANÁLISIS:

- No existen picos altos y los valores encontrados son admisibles según la norma ISO 10816, puesto que el valor pico más alto es de 1.7 mm/seg en 2X Radial.

5.1.4.5 Espectro obtenido en el punto C2A

Figura 61. Espectro obtenido en el punto C2A



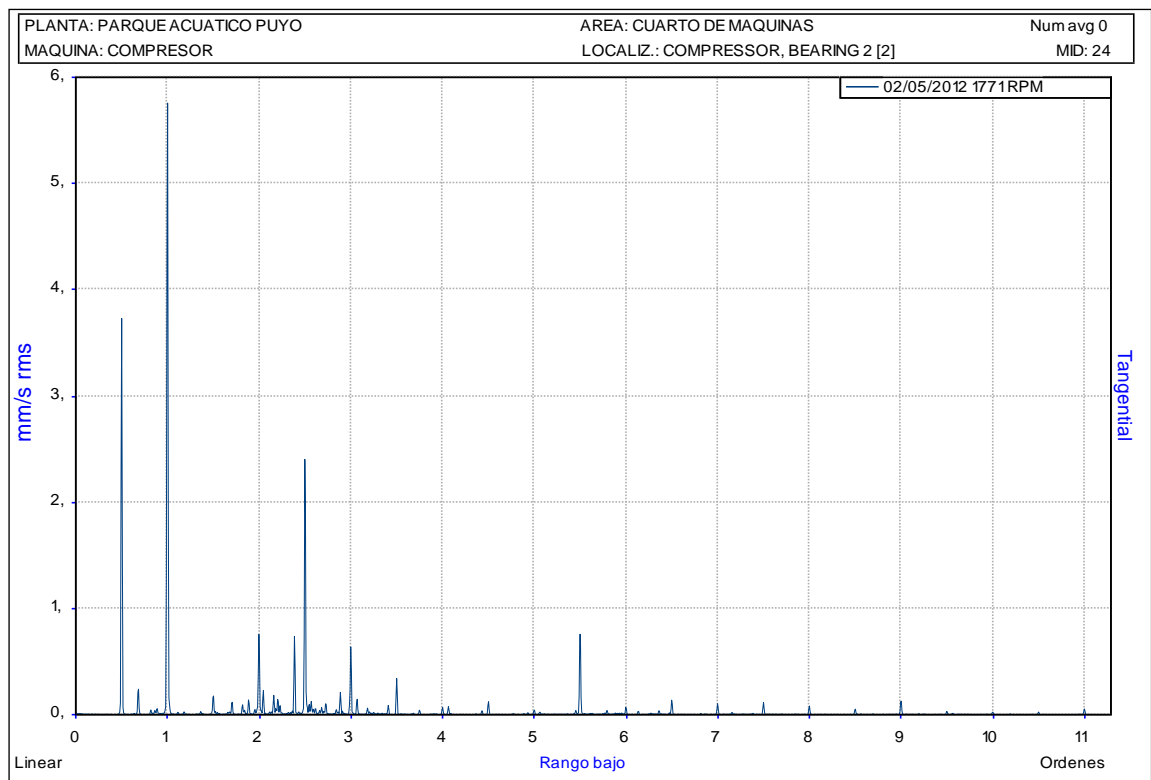
Fuente: EQUIPO DCX

ANÁLISIS:

- No existen picos altos y los valores encontrados son admisibles según la norma ISO 10816, ya que el valor pico más alto es de 1.8 mm/seg en 1X Axial.

5.1.4.6 Espectro obtenido en el punto C2T

Figura 62. Espectro obtenido en el punto C2T



Fuente: EQUIPO DCX

ANÁLISIS:

- El espectro nos muestra un valor pico de 3.7 mm/s en 0.5X Tangencial, el mismo que nos indica un nivel de alarma.
- Además tenemos un pico de 5.8 en 1X Tangencial, el cual hace notar que la máquina presenta un problema según la norma ISO 10816.

DIAGNÓSTICO:

Una vez realizada la interpretación de cada uno de los espectros obtenidos en el punto 2 del compresor, se llegó a determinar los problemas con los que cuenta el mismo, y éstos son:

- Se cuenta con un problema de flexibilidad transversal debido a que se tiene un valor pico fuera de rango en el armónico 1X Tangencial.
- Los armónicos 0.5X y 2.5X del mismo sentido son aún admisibles, pero se incrementarán a futuro y provocarán un problema de **holgura extrema**.

5.2 Creación de reporte de resultados

Una vez obtenidos todos los datos a través del analizador de vibraciones podemos acceder a la diferente información, como son los reportes de resultados, los mismos que se detallarán en el **ANEXO A**.

En estos reportes se puede observar todos los valores correspondientes a las mediciones realizadas en los diferentes puntos con sus respectivos niveles de vibración, así como también la fecha de ejecución del trabajo.

5.3 Determinación de problemas existentes

Habiendo interpretado cada uno de los espectros obtenidos en los diferentes puntos de los equipos, en los tres sentido de medición, se logró determinar los problemas que las máquinas presentan, y de no ser así, se encontraron tendencias que podrán generar problemas en el futuro.

5.3.1 *Problemas y tendencias encontrados en el ventilador de alta presión 1*

1) Desalineación combinada

Posibles causas:

- Deficiencias en los componentes de acoplamiento.
- Carga excesiva.
- La posición relativa de los componentes se altera después del montaje.
- Expansión de la estructura de la máquina debido al incremento de temperatura.
- “Pie Suave”, esto es cuando una máquina se altera o cuando los pernos de fijación son puestos bajo fuerzas de torque.

- Montaje defectuoso.
- Lubricación inadecuada o incorrecta.

5.3.2 *Problemas y tendencias encontrados en el ventilador de alta presión 2*

1) Extremo desbalanceo del ventilador

Posibles causas:

- Depósitos de material acumulados durante la operación de la máquina.
- Distribución desigual de aire.
- Excentricidad del rotor.
- Desgaste irregular durante la operación de la máquina.
- Desalineamiento de los cojinetes.
- Distorsión del rotor debida a gradientes de temperatura.

2) Desalineación combinada

Posibles causas:

- Deficiencias en los componentes de acoplamiento.
- Carga excesiva
- La posición relativa de los componentes se altera después del montaje
- Expansión de la estructura de la máquina debido al incremento de temperatura.
- “Pie Suave”, esto es cuando una máquina se altera o cuando los pernos de fijación son puestos bajo fuerzas de torque.
- Montaje defectuoso
- Lubricación inadecuada o incorrecta

3) **Holgura Mecánica**

Posibles causas:

- Montaje de rodamientos sin la tolerancia adecuada, tanto en el eje como en los alojamientos.
- Pernos de montaje flojos.
- Corrosión.
- Fisuras en la estructura de montaje.
- Excesivo huelgo en cojinetes hidrodinámicos.

5.3.3 *Problemas y tendencias encontrados en el compresor*

1) **Holgura Extrema a futuro**

- Montaje de rodamientos sin la tolerancia adecuada, tanto en el eje como en los alojamientos.
- Pernos de montaje flojos.
- Corrosión.
- Fisuras en la estructura de montaje.
- Excesivo huelgo en cojinetes hidrodinámicos.

5.4 **Recomendación de correcciones necesarias**

5.4.1 *Recomendación para el ventilador de alta presión 1*

Para corregir el problema de **desalineación combinada** se recomienda realizar lo siguiente:

- Revisar la existencia de juego en los componentes.
- Revisar si el eje se encuentra pandeado.

- Revisar la posición relativa de los componentes ya que esta se altera después del montaje.
- Soltura o rotura de los pernos del acoplamiento.
- Alinear el equipo.

5.4.2 Recomendación para el ventilador de alta presión 2

Para corregir el problema de **desbalanceo extremo del ventilador** se recomienda realizar lo siguiente:

- Inspeccionar rodete del ventilador.
- Reparar o cambiar rodete.
- Cambiar los rodamientos deteriorados.

Para corregir el problema de **desalineación combinada** se recomienda realizar lo siguiente:

- Revisar la existencia de juego en los componentes.
- Revisar si el eje se encuentra pandeado.
- Revisar la posición relativa de los componentes ya que ésta se altera después del montaje.
- Soltura o rotura de los pernos del acoplamiento.
- Alinear el equipo.

Para corregir el problema de **holgura mecánica** se recomienda revisar lo siguiente:

- Notar la existencia de pernos flojos.
- Revisar el estado del anclaje de la máquina.
- Revisar la existencia de fisuras en la estructura de montaje.
- Determinar si existe juego entre los ejes y los rodamientos.

5.4.3 Recomendación para el compresor

Para prevenir el problema de **Flexibilidad transversal** se recomienda lo siguiente:

- Notar la existencia de pernos flojos.
- Revisar el estado del anclaje de la máquina.
- Revisar la existencia de fisuras en la estructura de montaje.

Para prevenir el problema de **Holgura extrema** a futuro se recomienda revisar lo siguiente:

- Notar la existencia de pernos flojos.
- Revisar el estado del anclaje del equipo.
- La existencia de fisuras en la estructura de montaje.
- Determinar si existe juego entre los ejes y los rodamientos.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se aprovechó al máximo el conocimiento teórico - práctico adquirido en el transcurso de nuestra carrera y de esta manera se fortalecieron los mismos.

Al realizar la categorización de los equipos, se logró determinar que de acuerdo a los aspectos selectivos y parámetros directivos, tres de las cinco máquinas en estudio resultaron ser de categoría A es decir críticas.

El transductor utilizado fué de capacidad triaxial, es decir en una sola dirección realizó la medición en los tres sentidos.

Los puntos de medición del ventilador fueron tomados en el motor encargado de hacer girar al mismo, debido a que entre ambos equipos existe un acople directo y las vibraciones del ventilador fueron absorbidas en el motor.

Se realizó el análisis de vibraciones en cada uno de los equipos críticos encargados de la generación de olas artificiales, lo que nos permitió conocer el verdadero estado de los equipos y se llegó a determinar que la máquina que mayores problemas presentó fue el ventilador de alta presión 2 encontrándose un extremo desbalanceo del ventilador, desalineación y problemas de holgura mecánica.

Se logró encontrar un solo problema en el ventilador de alta presión 1 y una tendencia de holgura extrema en el compresor.

6.2 Recomendaciones

Tomar las medidas periódicamente en los equipos que fueron encontrados problemas, en especial en el ventilador 2, puesto que en este caso se tiene que realizar el cambio del rodete, para así prevenir cualquier inconveniente en el mismo y lograr que cumplan con el rendimiento requerido en la producción.

Continuar con el monitoreo de los equipos mediante el análisis de vibraciones, para poder determinar el estado de las máquinas y predecir a tiempo cualquier tipo de fallo.

Brindar capacitación al personal técnico encargado del mantenimiento, ya que al parecer no tienen mucho conocimiento especialmente de los equipos a los cuales se les ha estudiado.

Interpretar minuciosamente los espectros obtenidos, para que los resultados alcanzados por el equipo sean los más adecuados y confiables.

Sería importante que la escuela de Ingeniería de Mantenimiento haga todo lo posible para adquirir un nuevo equipo analizador de vibraciones, ya que el actual no es muy confiable y de esta manera los estudiantes podrán realizar trabajos de campo y así enfrentarse a la realidad industrial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MOROCHO, M. Texto de Administración del Mantenimiento. Pág. 8.
- [2] CUATRECASAS, L. Total Productive Maintenance. Pág. 194.
- [3] MOROCHO, M. Diagnóstico Vibroacústico. Riobamba – Ecuador. Pág. 45.
- [4] Congreso Mexicano de Confiabilidad y Mantenimiento. México. Pág. 39
- [5] PALOMINO, E. La Medición y el Análisis de Vibraciones en el Diagnóstico de Máquinas Rotatorias. Cuba: Ceim, 1997. Pág 121.
- [6] MOROCHO, M. Diagnóstico Vibroacústico. Riobamba – Ecuador. Pág. 33.
- [7] GLENN, W. Vibraciones Mecánicas. Alemania: DLI Engineering Corp, 2003. Pág. 31.
- [8] A – MAQ S.A. Tutorial de Vibraciones para Mantenimiento Mecánico. 3ra.ed. México: A – Maq S.A., 2005. Pág. 17.
- [9] PALOMINO, E. La Medición y el Análisis de Vibraciones en el Diagnóstico de Máquinas Rotatorias. Cuba: Ceim, 1997. Pág. 32.
- [10] GLENN, W. Vibraciones Mecánicas. Alemania: DLI Engineering Corp, 2003. Pág. 90.

BIBLIOGRAFÍA

AMAQ S.A. Tutorial de Vibraciones para Mantenimiento Mecánico. 3ra.ed. México:
A – Maq S.A., 2005.

BRUEL & KJAER, La medida de las vibraciones. Segunda edición. Dinamarca; 2003.

CUATRECASAS, L. Total Productive Maintenance.

GARCIA, S. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Madrid: Diaz de
Santos, 2003.

GLENN, W. Vibraciones Mecánicas. Alemania: DLI Engineering Corp, 2003.

MOROCHO, M. Diagnóstico Vibroacústico, Edicentro. Riobamba – Ecuador, 2003

MOROCHO, M. Texto de Administración del Mantenimiento, Edicentro, Riobamba,
2002

PALOMINO, E. La Medición y el Análisis de Vibraciones en el Diagnóstico de
Máquinas Rotatorias. Cuba: Ceim, 1997.

REYNA, A. Análisis Vibracional I y II. Guayaquil – Ecuador, Ademinsa 2006. (doc).

RODA, V. El Mantenimiento Predictivo como mejora en la Productividad. Cuba:
Simei, 2002.

SCHENCK, C. Diagnóstico de Máquinas. 3ra. ed. Dinamarca: Schenck, 2004.

LINKOGRAFÍA

ADMINISTRACIÓN DEL MANTENIMIENTO

www.mantenimientomundial.com

2012 - 03 - 12

MANTENIMIENTO PREDICTIVO

<http://www.predictivo@mpc.com.mx>

2012 - 03 - 19

VIBRACIONES MECÁNICAS

www.congresopanamericanomantenimiento.com

2012 - 03 - 24

ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN EQUIPOS ROTATIVOS

www.congresomexicanoconfiabilidadmantenimiento.mx

2012 - 04 - 06

ANEXO A

REPORTE DE RESULTADOS DE MEDICIÓN

Ventilador de alta presión 1

RECOMENDACIONES: NO HAY RECOMENDACIONES

DIAGNÓSTICOS:

LIGERO DESGASTE RODAMIENTO LADO LIBRE

0,44 (437%) mm/s en 16,5x en 1R en alto rango
0,39 (392%) mm/s en 2,61x en 1T en bajo rango
0,29 (287%) mm/s en 4,10x en 1A en bajo rango
0,21 (207%) mm/s en 16,0x en 1R en alto rango
0,15 (148%) mm/s en 2,61x en 1R en bajo rango
0,14 (138%) mm/s en 4,90x en 1R en bajo rango

LIGERO DESEQUILIBRIO

4,2 (234%) mm/s en 1,00x en 1T en bajo rango
2,2 (125%) mm/s en 1,00x en 2T en bajo rango
2,2 (124%) mm/s en 1,00x en 2R en bajo rango
1,5 (84%) mm/s en 1,00x en 2A en bajo rango
1,4 (79%) mm/s en 1,00x en 1A en bajo rango
0,99 (56%) mm/s en 1,00x en 1R en bajo rango

LEYENDA POSICIÓN:

POSICIÓN 1 ES: CLOSE COUPLED MACHINE, BEARING 1

POSICIÓN 2 ES: CLOSE COUPLED MACHINE, BEARING 2

LECTURAS VALOR GLOBAL

OK: 5,09 mm/s en 1A Nivel alarma: 0,00 mm/s

OK: 3,43 mm/s en 1R Nivel alarma: 0,00 mm/s

OK: 6,85 mm/s en 1T Nivel alarma: 0,00 mm/s

OK: 4,44 mm/s en 2A Nivel alarma: 0,00 mm/s

OK: 3,51 mm/s en 2R Nivel alarma: 0,00 mm/s

OK: 6,44 mm/s en 2T Nivel alarma: 0,00 mm/s

Ventilador de alta presión 2

RECOMENDACIONES:

OBLIGATORIO: INSPECCIONAR RODETE VENTILADOR; REPARAR O CAMBIAR RODETE

IMPORTANTE: CAMBIAR RODAMIENTOS

DIAGNÓSTICOS:

EXTREMO DESEQUILIBRIO DEL VENTILADOR

40 (2229%) mm/s en 1,00x en 2R en bajo rango
20 (1146%) mm/s en 1,00x en 1A en bajo rango
19 (1047%) mm/s en 1,00x en 2A en bajo rango
11 (641%) mm/s en 1,00x en 2T en bajo rango
5,1 (286%) mm/s en 1,00x en 1T en bajo rango
4,9 (273%) mm/s en 1,00x en 1R en bajo rango

EXTREMO HOLGURAS LADO CONDUCTOR

Pico max frec conductor = 20 dB en 2A
Pico max frec conductor = 20 dB en 2R
Pico max frec conductor = 20 dB en 2T
8,5 (2686%) mm/s en 2,00x en 2T en bajo rango
8,0 (4477%) mm/s en 3,00x en 2T en bajo rango
6,7 (2108%) mm/s en 2,00x en 2A en bajo rango
5,3 (2996%) mm/s en 3,00x en 2A en bajo rango
4,4 (2482%) mm/s en 4,00x en 2A en bajo rango
2,5 (1404%) mm/s en 3,00x en 2R en bajo rango
2,2 (1228%) mm/s en 4,00x en 2R en bajo rango
1,3 (413%) mm/s en 2,00x en 2R en bajo rango
1,2 (690%) mm/s en 4,00x en 2T en bajo rango
1,1 (610%) mm/s en 5,00x en 2R en bajo rango
0,76 (426%) mm/s en 5,00x en 2T en bajo rango
0,46 (462%) mm/s en 17,0x en 2R en alto rango
0,40 (401%) mm/s en 14,0x en 2R en alto rango
0,32 (320%) mm/s en 8,00x en 2R en bajo rango
0,30 (169%) mm/s en 6,00x en 2R en bajo rango
0,29 (160%) mm/s en 5,00x en 2A en bajo rango
0,22 (215%) mm/s en 3,50x en 2R en bajo rango
0,19 (189%) mm/s en 9,00x en 2R en bajo rango
0,18 (103%) mm/s en 6,00x en 2T en bajo rango
0,17 (166%) mm/s en 10,0x en 2R en bajo rango
0,12 (125%) mm/s en 7,00x en 2R en bajo rango
0,12 (124%) mm/s en 7,00x en 2T en bajo rango

SERIO HOLGURAS LADO LIBRE

Pico máx frec conductor = 22 dB en 1T
Pico máx frec conductor = 21 dB en 1R
19 (5972%) mm/s en 2,00x en 1T en bajo rango
Pico max frec conductor = 18 dB en 1A
7,7 (4341%) mm/s en 4,00x en 1A en bajo rango
6,0 (1897%) mm/s en 2,00x en 1A en bajo rango
3,3 (1864%) mm/s en 4,00x en 1R en bajo rango
2,9 (1626%) mm/s en 3,00x en 1A en bajo rango
1,8 (1037%) mm/s en 3,00x en 1R en bajo rango
1,7 (959%) mm/s en 4,00x en 1T en bajo rango

1,4 (815%) mm/s en 3,00x en 1T en bajo rango
1,2 (384%) mm/s en 2,00x en 1R en bajo rango
0,85 (847%) mm/s en 17,0x en 1R en alto rango
0,68 (679%) mm/s en 14,0x en 1R en alto rango
0,51 (284%) mm/s en 6,00x en 1R en bajo rango
0,45 (251%) mm/s en 5,00x en 1A en bajo rango
0,30 (168%) mm/s en 6,00x en 1T en bajo rango
0,23 (127%) mm/s en 5,00x en 1R en bajo rango
0,20 (115%) mm/s en 5,00x en 1T en bajo rango
0,18 (181%) mm/s en 9,00x en 1R en bajo rango
0,12 (124%) mm/s en 7,00x en 1R en bajo rango
0,11 (113%) mm/s en 7,00x en 1T en bajo rango
0,10 (105%) mm/s en 8,00x en 1R en bajo rango

MODERADO DESGASTE RODAMIENTO LADO LIBRE

1,0 (1049%) mm/s en 3,88x en 1A en bajo rango
0,85 (847%) mm/s en 17,0x en 1R en alto rango
0,77 (775%) mm/s en 3,92x en 1A en bajo rango
0,45 (449%) mm/s en 3,88x en 1R en bajo rango
0,41 (411%) mm/s en 2,48x en 1R en bajo rango

LEYENDA POSICIÓN:

POSICIÓN 1 ES: CLOSE COUPLED MACHINE, BEARING 1

POSICIÓN 2 ES: CLOSE COUPLED MACHINE, BEARING 2

LECTURAS VALOR GLOBAL

OK: 24,59 mm/s en 1A Nivel alarma: 0,00 mm/s
OK: 7,27 mm/s en 1R Nivel alarma: 0,00 mm/s
OK: 22,22 mm/s en 1T Nivel alarma: 0,00 mm/s
OK: 23,06 mm/s en 2A Nivel alarma: 0,00 mm/s
OK: 42,58 mm/s en 2R Nivel alarma: 0,00 mm/s
OK: 18,07 mm/s en 2T Nivel alarma: 0,00 mm/s

Compresor

RECOMENDACIONES:

DESEABLE: COMPROBAR CORREA POR DESGASTE Y TENSIÓN INCORRECTA

DIAGNÓSTICOS:

MODERADO IRREGULARIDAD EN CORREA CONDUCTORA

3,2 (3221%) mm/s en 10,0xBR en 1T en bajo rango
1,5 (1468%) mm/s en 10,0xBR en 1R en bajo rango

LIGERO DESGASTE EN RODAMIENTO DEL MOTOR

2,0 (1991%) mm/s en 2,39xM en 1A en bajo rango
0,63 (223%) mm/s en 12,2xM en 1T en alto rango
0,60 (214%) mm/s en 12,2xM en 1A en alto rango
0,45 (161%) mm/s en 12,2xM en 1R en alto rango
0,23 (140%) mm/s en 11,7xM en 1A en alto rango

LIGERO DEMODULACIÓN SIGNIFICATIVA EN EL RODAMIENTO DEL MOTOR

Armónicos tono rodamiento en espectro demod con coincidencia directa entre espectro regular y demod en 1A

Armónicos tono rodamiento en espectro demod con coincidencia directa entre espectro regular y demod en 1R

Armónicos tono rodamiento en espectro demod con coincidencia directa entre espectro regular y demod en 1T

Band lat freq jaula existen en 1A
Band lat freq jaula existen en 1R
Band lat freq jaula existen en 1T

LIGERO HOLGURAS EN RODAMIENTO DEL MOTOR

Suma de armónicos freq conductor = 25 dB en 1A
Pico máx freq conductor = 22 dB en 1A
Suma de armónicos freq conductor = 19 dB en 1R
Pico máx freq conductor = 18 dB en 1R
Pico máx freq conductor = 16 dB en 1T
Suma de armónicos freq conductor = 16 dB en 1T
3,3 (3330%) mm/s en 2,50xM en 1A en bajo rango
3,0 (3048%) mm/s en 2,50xM en 1T en bajo rango
1,7 (936%) mm/s en 3,00xM en 1A en bajo rango
1,3 (1286%) mm/s en 2,50xM en 1R en bajo rango
1,0 (587%) mm/s en 3,00xM en 1R en bajo rango
1,00 (562%) mm/s en 3,00xM en 1T en bajo rango
0,37 (205%) mm/s en 4,00xM en 1T en bajo rango

LEYENDA POSICIÓN:

POSICIÓN 1 ES: MOTOR, BEARING 1

POSICIÓN 2 ES: COMPRESSOR, BEARING 2

LECTURAS VALOR GLOBAL

OK: 4,93 mm/s en 1A Nivel alarma: 0,00 mm/s

OK: 2,89 mm/s en 1R Nivel alarma: 0,00 mm/s

OK: 8,05 mm/s en 1T Nivel alarma: 0,00 mm/s
OK: 3,81 mm/s en 2A Nivel alarma: 0,00 mm/s
OK: 3,48 mm/s en 2R Nivel alarma: 0,00 mm/s
OK: 10,19 mm/s en 2T Nivel alarma: 0,00 mm/s

ANEXO B

EQUIPO UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS DE VIBRACIONES

El equipo utilizado para el diagnóstico vibroacústico en los equipos críticos de la Industria Acero de los Andes es Azima DLI DCX.



Procedimiento para el levantamiento de datos técnicos

PASO 1 Recopilación de Información

Todo manual, catálogo y hoja técnica deberán ser reunidos y clasificados por equipo. En caso de no existir este tipo de apoyo técnico, la investigación se realizará en campo.

PASO 2 Ingreso de Datos en el Registro VTAG

El formato F-AT-010 será utilizado como registro VTAG para cada equipo. No es necesario llenar toda la información puesto que en muchos casos es muy difícil conseguir ciertos datos. La información faltante deberá ser llenada con datos de inspección visual del espectro y al realizar inspecciones de campo cuando se esté interviniendo el equipo para overhaul. Los datos necesarios son:

Conductores	Motor Eléctrico		Turbina		MCI	
	RPM Nominales		RPM Nominales		RPM Nominales	
	Potencia		Potencia		Potencia	
	N° Álabes Vent. de Enfriamiento (de ser TEFC ²¹)		N° de Etapas ²²		N° de Cilindros	
			N° de Álabes (c/Etapa)		Tipo	
	Tipo de Apoyo	Rodamientos	Tipo de Apoyo	Rodamientos	Tipo de Apoyo	2 Tiempos
		Cojinetes		Cojinetes		4 Tiempos
					Rodamientos	
					Cojinetes	

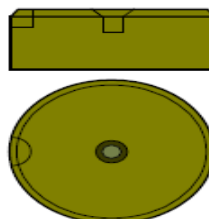
Elementos Intermedios	Acople Flexible	Poleas y Bandas		Caja de Engranajes
	Marca	Ø Polea Conductora		Relación de Transmisión
	N° de Elementos	Ø Polea Conducida		N° de Dientes c/engranaje
		Distancia entre Centros		N° de Etapas
		N° de Bandas		

Conducidos	Bombas Centrífugas		Ventiladores		Compresores de Tornillo	
	RPM de Operación		Vent. en Cantilever? SI / NO		Potencia	
	Potencia		N° de Álabes		N° de Hileras c/tornillo	
	N° de Álabes del Impeler		Tipo de Apoyo	Rodamientos	Tipo de Apoyo	Rodamientos
	Impulsor en Cantilever? SI / NO			Cojinetes		Cojinetes
	Tipo de Apoyo	Rodamientos				
		Cojinetes				

Principales datos a recopilar en un equipo

Bases de bronce para acoplamiento del sensor

Las bases para acoplamiento (hechas de bronce o acero inoxidable) son colocadas en las máquinas en los puntos de medición requeridos. El acelerómetro triaxial se acopla a estas bases para la colección de datos de vibración. Las bases hechas de bronce silicón como la indicada en la figura.



Base de bronce

Es importante verificar que la base esté correctamente orientada, que lo determina la ranura. Esta debe estar paralela o perpendicular a la línea de flujo de energía (eje) únicamente.

IMPORTANTE

Nunca colocar bases en tapas de ventilador de enfriamiento, guardas de acoplamiento o bandas, estructuras poco sólidas, sitios lejanos a los apoyos e inaccesibles para acoplamiento del transductor.

A continuación se detallan los pasos requeridos para instalar una base:

PASO 1	Ubicar la localización para medición
PASO 2	Determinar Orientación
PASO 3	Preparar la superficie de la máquina
PASO 4	Preparar la base para acoplamiento
PASO 5	Aplicar el Activador Loctite 7075™
PASO 6	Aplicar el Adhesivo Estructural Loctite 325™
PASO 7	Colocar la base para acoplamiento
PASO 8	Verificar Orientación
PASO 9	Anote y mantenga una bitácora de los cambios hechos